

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
ANWENDBARKEIT DER
NYLONBEUTEL-TECHNIK BEIM SCHWEIN
ZUR VEREINFACHTEN
VERDAULICHKEITSBESTIMMUNG VON
NÄHRSTOFFEN UND FUTTERENERGIE

Bernd-Michael Handlos

1974

Aus dem Institut für Tierphysiologie und aus dem
Institut für Ernährungsphysiologie der
Tierärztlichen Fakultät der
Universität München

Vorstände: Prof. DDr. Dr. h.c. mult. J. Brüggemann
Prof. Dr. Dr. J. Tiews †

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ANWENDBARKEIT DER
NYLONBEUTEL-TECHNIK BEIM SCHWEIN ZUR VER-
EINFACHTEN VERDAULICHKEITSBESTIMMUNG VON
NÄHRSTOFFEN UND FUTTERENERGIE

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-
Universität München
von
Bernd-Michael Handlos
aus
Heidelberg

München 1974

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen
Fakultät der Universität München

Dekan: Prof. Dr. E. Dahme

Referent: Prof. DDr. Dr. h.c. mult. J. Brüggemann

Korreferent: Prof. Dr. J. Kalich

Tag der Promotion: 22.2.1974



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
EINLEITUNG	1
LITERATUR	2
MATERIAL UND METHODIK	16
1. Gewinnung des Untersuchungsmaterials	16
2. Verdauungsversuche	18
3. Methodik	20
3.1 Chromoxid-Analytik	20
3.2 Rohnährstoffanalyse	20
3.21 Bestimmung des Rohproteins	22
3.22 Bestimmung des Rohfettes	24
3.23 Bestimmung der Rohasche	25
3.24 Bestimmung der stickstoff- freien Restsubstanz	25
3.3 Bestimmung der Verbrennungswärme im Bombenkalorimeter	25
3.4 Berechnungen	30
ERGEBNISSE	32
DISKUSSION	38
ZUSAMMENFASSUNG	54
ANHANG (Zusammensetzung der Versuchsdiäten)	59
LITERATURVERZEICHNIS	67
LEBENS LAUF	

EINLEITUNG

Die heutige Situation in der Landwirtschaft mit ständig steigenden Kosten für nicht betriebseigene Futtermittel und vergleichsweise geringfügigem Zuwachs der Erzeugerpreise zwingt den Landwirt zu einer überlegten Fütterung seiner Tierbestände, um bei geringst möglichen Futterkosten ein Optimum an Zuwachs und Leistung zu erzielen. In der Ernährungswissenschaft wurde diesem Umstand schon lange Rechnung getragen. Als Ergebnis zahlreicher Verdauungsversuche liegen umfangreiche Futterwerttabellen vor, mit deren Hilfe der Landwirt der jeweiligen Nutzungsrichtung entsprechende Futterrationen aus betriebseigenen bzw. zugekauften Futtermitteln erstellen und im voraus den Nährwert der Ration zur Vermeidung von Unterbilanzen berechnen kann.

Seit einiger Zeit werden in unseren Instituten umfangreiche Untersuchungen angestellt mit dem Ziel, den klassischen Verdauungsversuch am Schwein zeitlich zu verkürzen und die Versuchsanordnung weniger aufwendig zu gestalten. Hierzu erschien uns die bisher nur zum Studium der Verdauung im Pansen des Wiederkäuers eingesetzte Nylonbeutel-Technik Erfolg versprechend. Nachdem in diesen Versuchen für verschiedene Mischfutterrationen die Futter-trockensubstanz-Verdaulichkeit mit Hilfe der Nylonbeutel-Technik in guter Übereinstimmung mit den nach dem Chromoxid-Indikatorverfahren ermittelten Werten gefunden wurde (PETRY und TIEWS 1972; RAPP 1972; RECH 1973), erhielt ich die Aufgabe, die Zuverlässigkeit der Nylonbeutel-Technik auch hinsichtlich der Verdaulichkeitsbestimmung von Protein, Fett und der stickstofffreien Restsubstanz sowie der Futterenergie zu überprüfen.

LITERATUR

Für den lebenden Organismus ist der dauernde Umsatz von Energie eine unbedingte, das Leben definierende Voraussetzung. Es besteht somit die Forderung auf Lieferung energiereicher Betriebsstoffe und Ergänzung der abgenützten Baustoffe. Ein weiterer zusätzlicher Bedarf an Energiespendern ergibt sich durch die Leistung äußerer und vermehrter innerer Arbeit. Da der Organismus seinen ständigen Energiebedarf durch Oxydation der mit der Nahrung aufgenommenen Nährstoffe im intermediären Stoffwechsel deckt, setzt eine ökonomische Fütterung unserer landwirtschaftlichen Nutztiere die Kenntnis des energetischen Leistungsvermögens von Futtereinzelkomponenten und Futtermischungen voraus.

Als Begründer der modernen Ernährungslehre darf THAER (1809) angesehen werden, der ein erstes wissenschaftlich fundiertes System zur Futterwertbemessung erarbeitete. THAER verglich den "Nutzwert" verschiedener Futterrationen hinsichtlich des Leistungsvermögens an Rindern mit dem "Nutzwert" von Heu. Dieser Heuwert blieb dann fast 50 Jahre lang in Deutschland ein brauchbarer Maßstab für die Futterwertbemessung beim Wiederkäuer. Für die skandinavischen Länder wurde diese Art der Futterwertbemessung noch in jüngster Zeit von MØLLGAARD (1954) und AXELSSON (1952) in Form der Skandinavischen Heueinheit als gültig beschrieben. Letztlich basiert auch die Russische Hafereinheit auf den von THAER geschaffenen Grundlagen einer vergleichenden Futterwertbemessung (zit. nach HOFFMANN 1965).

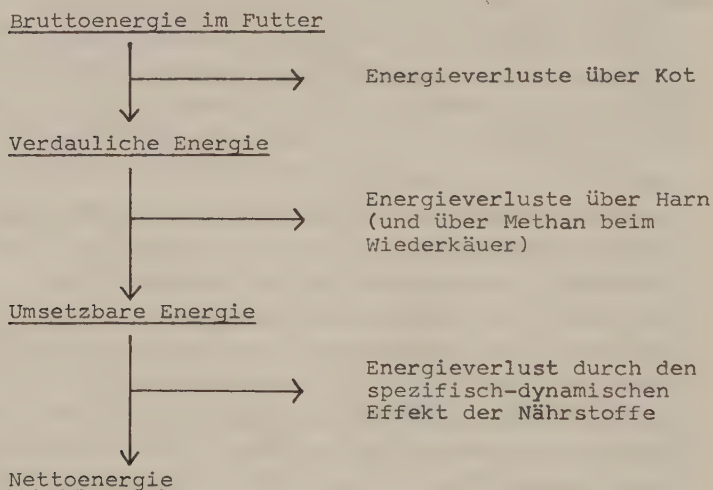
Mit der von HENNEBERG und STOHMANN um 1838 entwickelten Rohnährstoffanalyse (Weenderanalyse) sowie der Feststellung MULDERs, daß der N-Gehalt in Proteinen durchschnittlich 16% beträgt (zit. nach SCHARRER 1950), eröffneten sich neue Perspektiven zur Beurteilung von Futterratio-

nen. Erstmals wendete GROUVEN (1858) die Rohnnährstoff-analytik für die Futterbewertung an. Er schlug vor, Futtermittel nach ihrem analytisch ermittelten Gehalt an Rohnnährstoffen zu beurteilen. Einen Schritt weiter gingen dann HENNEBERG und STOHMANN (1864), denn sie erkannten, daß vielmehr der Gehalt an verdaulichen Nährstoffen maßgebend ist. Ihre anfänglichen Versuche, die Verdaulichkeit von Futtermitteln in vitro zu ermitteln, scheiterten. Sie bestimmten deshalb die (scheinbare) Verdaulichkeit der Nährstoffe am lebenden Versuchstier über die im gleichen Zeitraum aufgenommene Nährstoffmenge und deren davon im Kot wieder ausgeschiedenen unverdauten Anteil. HENNEBERG und STOHMANN dürfen auf Grund dieser Versuche als Begründer des auch heute noch zur Feststellung der Verdaulichkeit unumgänglichen klassischen Ausnutzungsversuches angesehen werden. WOLFF (1874) dehnte dann die HENNEBERG-STOHMANNschen Versuche an Rindern auch auf andere Tierarten, insbesondere auf das Schwein, aus. Wenig später erkannte RUBNER (1883), daß der tatsächliche "Nutzwert" des Futters aber nicht allein durch die Ausscheidung unverdaulicher Futterbestandteile im Kot geschmälert wird, sondern daß auch Verluste über Harn und beim Wiederkäuer zusätzlich über das im Pansen gebildete Methan auftreten. RUBNER (1902) bezeichnete deshalb den um diese Verluste bereinigten Futterwert als den physiologischen Nutzwert. Bei Respirationsversuchen beobachtete RUBNER weiterhin, daß Tiere kurz nach der Futteraufnahme eine höhere Wärmeabgabe aufweisen als im postresorptiven Zustand. Er nannte diese für die einzelnen Nährstoffe unterschiedlich hohe Wärmeabgabe den spezifisch-dynamischen Effekt der Nährstoffe. Auch diese Nebenwirkung muß bei der Beurteilung des einem Tier für Erhaltung und Produktion tatsächlich zur Verfügung stehenden "Nutzwertes" eines Futtermittels als Verlust berücksichtigt werden. Die von RUBNER gemachten Erkenntnisse lassen sich ent-

sprechend des später von ARMSBY (1917) aufgestellten und dann von HOFFMANN (1963) sowie von KLEIBER (1967) bestätigten Schemas im Sinne des Satzes von der Erhaltung der Energie beschreiben (Abbildung 1).

Abbildung 1

Energieausnutzung im tierischen Organismus nach ARMSBY (1917)



Als Bruttoenergie eines Futtermittels wird dessen im Bombenkalorimeter als Verbrennungswärme bestimmte chemische Energie bezeichnet. Nach Abzug des Energieinhaltes der mit dem Kot ausgeschiedenen unverdaulichen Futterbestandteile von der Bruttoenergie gelangt man zur verdaulichen Energie. Als Folge des Eiweißstoffwechsels werden im Harn noch energiehaltige Stoffwechselendprodukte ausgeschieden wie Harnstoff, Harnsäure und Kreatinin. Beim Wiederkäuer treten zusätzliche Energieverluste über das im Pansen gebildete Methan auf. Die Differenz von Bruttoenergie und den Energieverlusten über Kot und Harn (und beim Wiederkäuer über Methan) ergibt die umsetzbare Ener-

gie. Nach Abzug der thermischen Energie (spezifisch-dynamischer Effekt der Nährstoffe) von der umsetzbaren Energie erhält man schließlich die Nettoenergie eines Futtermittels.

Auf diese Erkenntnisse von RUBNER konnten sich KELLNER und KÖHLER (1900) stützen, als sie ihre Versuche begannen mit dem Ziel, Futtermittel vergleichend nach ihrem energetischen Leistungsvermögen beurteilen zu können. KELLNER u. Mit. gingen bei ihren Untersuchungen von der Überlegung aus, daß beim ausgewachsenen Tier die über den Erhaltungsbedarf hinaus zugeführte Futterenergie nur als Körperfett angesetzt werden kann, wenn das Tier keine körperliche Leistung (mechanische Arbeit) oder Produktion (Wachstum, Milch) erbringt. Als Versuchstiere wählten sie ausgewachsene Ochsen und bestimmten in Gesamtstoffwechselversuchen den energetischen Erhaltungsumsatz dieser Tiere sowie die zur Deckung ihres Erhaltungsbedarfes gerade ausreichende Menge einer Grundfütterration. Anschließend erhöhten KELLNER u. Mit. die Energiezufuhr in der Nahrung durch Zulage eines Prüffutters zu dieser Grundfütterration. Den durch das zugelegte Futtermittel am Versuchstier erreichten Fettansatz bestimmten sie nach Schlachtung der Tiere.

Zunächst ermittelten KELLNER u. Mit. das Fettbildungsvermögen der reinen Nährstoffe und wählten als Vergleichsmaßstab das Fettbildungsvermögen von verdaulicher Stärke: 1 kg eines verdaulichen Nährstoffes hat den Stärkewert 1, wenn dadurch beim ausgewachsenen Ochsen der gleiche Fettansatz (= 248 g) erzielt werden kann wie durch 1 kg verdauliche Stärke (248 g Fettansatz = 1 Stärkewert oder 1000 Stärkeeinheiten = $248 \times 9,53 = 2356$ kcal Nettoenergie).

Anhand dieser Daten berechneten KELLNER u. Mit. das energetische Leistungsvermögen von Futtermitteln bzw. Futtereinzelkomponenten aus deren Gehalt an verdaulichen Nährstoffen (Eiweiß, Fett, Kohlenhydrate) unter Berücksichtigung ihrer Stärkewert-Umrechnungsfaktoren als Stärkewert voraus und überprüften dieses rechnerische Ergebnis an-

schließend durch einen Gesamtstoffwechselversuch. Bei der Verfütterung von rohfaserhaltigen Futterrationen stellten KELLNER u. Mit. jedoch fest, daß der Fettansatz am Ochsen stets geringer war, als dies auf Grund des Gehaltes an verdaulichen Nährstoffen in der Ration zu erwarten gewesen wäre. Sie erklärten diesen Energieverlust zur Hälfte durch erhöhte Pansengärung, zur Hälfte durch vermehrte Kau- und Darmarbeit. KELLNER u. Mit. nahmen deshalb bei rohfaserreichen Rationen eine Korrektur des Stärkewertes durch den sogenannten "Rohfaserabzug" bzw. "Wertigkeitsfaktor" vor.

Auf den von KELLNER u. Mit. für zahlreiche Futtereinzelkomponenten und Futtermischungen bestimmten Ergebnissen bauen die auch heute noch in der Rinderfütterung gebräuchlichen Futterwerttabellen der DLG¹⁾ auf.

MØLLGAARD (1930, 1954) übernahm die Grundlagen der KELLNERSchen Futterwertbemessung, definierte jedoch die KELLNERSche Stärkeeinheit als Nettokalorie_{Fett} (NK_F): Eine Futter- oder Nährstoffmenge hat den energetischen Futterwert 1 NK_F , wenn durch sie bei der Fettmast ausgewachsener Tiere unter standardisierten Bedingungen eine Zunahme der Körperenergie von 1 cal erreicht wird (1 Stärkeeinheit = 2,356 NK_F). Im Bemühen um "wissenschaftliche Grundbedingungen einer gemeinsamen europäischen Futtereinheit" auf rein energetischer Basis schlug MØLLGAARD weiterhin vor, den Energiebedarf für alle landwirtschaftlichen Nutztiere und unabhängig von der Produktionsrichtung (also nicht wie KELLNER allein gültig für die Fettmast) allgemein in NK_F anzugeben. BREIREM (1939) konnte die Brauchbarkeit der MØLLGAARDSchen Bewertungseinheit NK_F für die Schweinefütterung in zahlreichen Versuchen bestätigen. BREIREM (1954) kam jedoch später zu der Auffassung, daß für die energetische Bewertung von Schweineportionen bereits die verdauliche Energie ein hinreichend genaues Maß darstellt.

1) Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft

Die KELLNERSchen Versuche wurden von FINGERLING (1932) weitergeführt und insbesondere auch auf das Schwein ausgedehnt. Da jedoch das KELLNERSche Nettoenergie-Berechnungsverfahren mit den damit verbundenen arbeitsaufwendigen Gesamtstoffwechselversuchen für eine praktische Futtermittelbewertung zu zeitraubend ist, versuchte FINGERLING den Nettoenergiegehalt von Rationen rechnerisch aus deren Gehalt an umsetzbaren Nährstoffen zu ermitteln. Später stellten dann NEHRING und Mitarbeiter (1954, 1958, 1959, 1962, 1963, 1964, 1966) bei der Auswertung ihrer eigenen sowie der Versuche von KELLNER und FINGERLING fest, daß sich die Energiekennzahlen (i.e. verdauliche Energie, umsetzbare Energie und Nettoenergie - siehe Abbildung 1) einer Futterration bereits aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen mit guter Näherung berechnen lassen. Diese Feststellung bedeutete für die praktische Futtermittelbewertung eine wesentliche Erleichterung. Denn im Gegensatz zu den umsetzbaren Nährstoffen lassen sich die verdaulichen Nährstoffe von Futterrationen relativ einfach im Tierversuch ermitteln. NEHRING und Mitarbeiter tragen durch unterschiedliche multiple Regressionsgleichungen dem Futtertyp (z.B. Kraftfutter, Grünfutter) und dem von Tierart zu Tierart unterschiedlichen Verdauungsvermögen Rechnung. So geben sie z.B. für das uns hier interessierende Versuchstier Schwein die folgenden Gleichungen zur Berechnung der Energiekennzahlen aus den verdaulichen Nährstoffen an.

1. Verdauliche Energie (kcal/g Futter)

$$y = 5,39 x_1 + 8,91 x_2 + 4,15 x_3 + 4,19 x_4;$$

2. Umsetzbare Energie (kcal/g Futter)

$$y = 4,50 x_1 + 8,72 x_2 + 4,00 x_3 + 4,17 x_4;$$

3. Nettoenergie (kcal/g Futter)

$$\text{Kraftfutter : } y = 2,40 x_1 + 7,71 x_2 + 0,01 x_3 + 3,27 x_4;$$

$$\text{Grünfutter, stärkeereich, : } y = 2,00 x_1 + 7,50 x_2 + 0,60 x_3 + 3,20 x_4;$$

Grünfutter, zuckerreich, : $y = 2,00 x_1 + 7,50 x_2 + 0,60 x_3 + 2,90 x_4$;

wobei

x_1 = verdauliches Protein; x_2 = verdauliches Fett;
 x_3 = verdauliche Rohfaser; x_4 = verdauliche N-freie
Extraktstoffe in g pro 1 g Futter sind.

NEHRING und Mitarbeiter sind ebenso wie BREIREM (siehe Seite 6) der Auffassung, daß im Gegensatz zum Wiederkäuer, bei dem allein die Nettoenergie ein brauchbares Vergleichsmaß für den Futterwert darstellt, beim Schwein die verdauliche Futterenergie auf Grund des nur geringen Unterschiedes von verdaulicher Energie und Nettoenergie (geringe Energieverluste über Harn) den Futterwert hinreichend genau beschreibt. Sie geben deshalb für das Schwein die obigen Gleichungen 2 und 3 nur der Vollständigkeit halber an.

Es wird immer wieder diskutiert, daß die KELLNERSche Stärkeeinheit, weil sie sich auf Versuche gründet, die den Produktionswert der Futtermittel bei der Fettmast ausgewachsener Wiederkäuer feststellten, nur begrenzte Gültigkeit habe. Es sei deshalb nicht ohne weiteres richtig, die Stärkeeinheit (d.h. die Fettmast-Nettoenergie) auch bei anderen Produktionsrichtungen (z.B. Ansatz, Milch) sowie bei anderen Tierarten zu verwenden, weil man annehmen muß, daß die Futtermittel dann einen anderen Produktionswert als bei reiner Fettmast haben. So vertreten insbesondere AXELSSON (1941, 1948, 1950, 1952, 1954), BLAXTER (1950, 1962, 1969) und DENISSOW (zit. nach HOFFMANN 1965) die Ansicht, daß unter diesem Gesichtspunkt die Beurteilung der Futterrationen in der Wiederkäuerfütterung besser nach der umsetzbaren Energie erfolgen sollte.

In Amerika schufen ATWATER und BRYANT (1900) durch ihre grundlegenden Verdauungsversuche am Menschen die Voraussetzungen für die wenig später von HILL, WOLL und HUMPHREY (S.10) auch an Tieren zur Bestimmung des Nährwertes von Futterrationen angestellten Versuche. ATWATER und BRYANT suchten nach einer Möglichkeit, Nahrungsmittel auf energetischer Basis in Abhängigkeit von der Nährstoffzusammensetzung beurteilen zu können. Da beim Menschen nennenswerte Energieverluste nur über die unverdaut in den Faeces ausgeschiedenen Nahrungsbestandteile auftreten (vergleichbare Verhältnisse liegen beim Schwein vor), wählten sie die verdauliche Energie (VE) als Bewertungseinheit, zu deren Berechnung sie die folgende Formel angeben:

$$VE \text{ (kcal/g)} = 5,6 x_1 + 9,3 x_2 + 4,3 x_3;$$

wobei x_1 , x_2 und x_3 die Gehalte (g) an verdaulichem Protein, verdaulichem Fett bzw. verdaulichen Kohlenhydraten in der Nahrung (pro 1 g), die jeweiligen numerischen Faktoren die im Bombenkalorimeter bestimmten Bruttoenergiegehalte (kcal/g) der Nährstoffe sind.

Bei ihren Versuchen beobachteten ATWATER und BRYANT für Fett gegenüber Protein und Kohlenhydraten eine weitaus höhere energetische Verwertbarkeit, nämlich VE_{Fett} :

VE_{Prot} bzw. VE_{KH} durchschnittlich wie 2,25 : 1. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, multiplizierten sie deshalb bei der Berechnung der verdaulichen Energie den Gehalt an verdaulichem Fett mit dem Faktor 2,25.

Die von ATWATER für die Nährstoffe angegebenen kalorischen Koeffizienten wurden später von MAYNARD (1944) und ABRAMS (1950) etwas genauer mit 5,65 kcal/g Protein, 9,40 kcal/g Fett und 4,15 kcal/g N-freie Restsubstanz angegeben. LOFGREEN (1951) vertrat später die Auffassung, daß bei der Berechnung der verdaulichen Energie nach ATWATER und BRYANT der hohen energetischen Verwertbarkeit von Fett eine zu wenig differenzierte Bewertung beigegeben wird. Vielmehr sollte das in Futterrationen zumeist recht

unterschiedliche Verhältnis von verdaulichem Fett zur organischen Substanz (OS) beachtet werden. Er schlug deshalb vor, die nach der ATWATER-Gleichung berechnete verdauliche Energie mit einem Faktor (F_L) zu korrigieren, der sich wie folgt berechnet:

$$F_L = \frac{OS}{100} \times \frac{100 - 2,25 \times \frac{\text{verd. Fett}}{OS} + \frac{\text{verd. Fett}}{OS}}{100}$$

HILL und HUMPHREY (1910) beschreiben als Ergebnis ihrer Versuche das ATWATER-Berechnungssystem auch für die Futterwertbemessung bei Milchkühen als gültig. Im gleichen Jahr schlugen dann WOLL und HUMPHREY (1910) vor, Futterrationen nach Total Digestible Nutrients (TDN) = Summe der verdaulichen Nährstoffe (in g) zu bewerten. Wie ATWATER und BRYANT beim Menschen beobachteten WOLL und HUMPHREY auch beim Tier eine um das 2,25-fache höhere energetische Verwertbarkeit von Fett gegenüber Protein und Kohlehydraten. Sie berücksichtigten dies ebenfalls bei der Berechnung der TDN durch Multiplikation des verdaulichen Fettanteils mit dem Faktor 2,25. Bei ihren Untersuchungen an Milchkühen stellten WOLL u. Mit. fest, daß 1 g TDN etwa 4,4 cal verdaulicher Energie (VE) entsprechen, so daß die VE einer Futterration anhand dieser quantitativen Beziehung aus dem Gehalt an TDN berechnet werden kann. Im Gegensatz zu KELLNERS Stärkewert ist die TDN-Energie als Einheit der Futterwertbemessung für Tiere mit Leistung (Milchkühe) definiert.

Um die TDN einer Futtermischung direkt aus dem Rohnährstoffgehalt abschätzen zu können, berechneten WOLL u. Mit. unter Auswertung ihrer eigenen sowie der Versuche von HILL u. Mit. die mittlere Verdaulichkeit der Nährstoffe (Protein 75%; Fett 90%; Rohfaser 50% und stickstofffreie Restsubstanz 90%). (Einer späteren Empfehlung der FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION (194) zufolge müssen aber für genauere Untersuchungen die tatsächlichen Verdauungskoeffizienten der Nährstoffe für jede Futterration experimentell ermittelt und daraus die TDN berech-

net werden.)

Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang auch die von SCHNEIDER (1947, 1950, 1951, 1952, 1954) als Ergebnis seiner zahlreichen Versuche vorgelegten Tabellen, mit deren Hilfe es gelingt, die TDN und die verdauliche Energie aller gebräuchlichen Futtermittel allein aus deren im Bombenkalorimeter bestimmten Bruttoenergie zu berechnen.

Während sich außer WOLL u. Mit. und SCHNEIDER auch andere amerikanische Ernährungswissenschaftler mit der Angabe der verdaulichen Energie zur Vorhersage des Leistungsvermögens von Futterrationen bei allen landwirtschaftlichen Nutztieren begnügten (KRISS 1931; CRAMPTON 1942, 1951, 1954, 1956, 1957; MAYNARD 1944; MORRISON 1948), hielt KLEIBER (1940, 1945, 1954, 1967) diese Angabe wegen des nur geringen Unterschiedes von verdaulicher Energie und Nettoenergie nur beim monogastrischen Tier (Schwein) für eine ausreichend genaue Futterbewertungsgrundlage. Als Ergebnis seiner Versuche bestätigte KLEIBER die Richtigkeit der KELLNERSchen Bewertung von Futterrationen nach ihrem Gehalt an Nettoenergie in der Wiederkäuerfütterung. Eine Bewertung von Schweinerationen nach der umsetzbaren Energie, wie sie AXELSSON (1954) und BLAXTER (1962) für die Rinderfütterung forderten, lehnte KLEIBER (1954) wie auch NEHRING (siehe Seite 7) mit der Begründung ab, daß beim monogastrischen Tier wegen der geringen Energieverluste über Harn (und über geringe Mengen noch brennbarer Gase) die Angabe der umsetzbaren Energie gegenüber der verdaulichen Energie praktisch keine genauere Aussage erlaube. Die Ansicht, daß die verdauliche Energie zur Futterbewertung in der Schweinehaltung genüge, wurde auch vom NATIONAL RESEARCH COUNCIL COMMITTEE (1953) in der Informationsschrift über "Empfehlenswerte Futterrationen in der Schweinehaltung" sowie von einer gleichartigen Resolution der BRITISH COMMONWEALTH SPECIALISTS für Tierernährung (1949) vertreten.

In Deutschland bemühte sich LEHMANN (1925, 1928) um eine befriedigende Futtermittelbewertung in der Schweine- und Geflügelfütterung. LEHMANN ging ebenfalls von der Überlegung aus, daß beim Schwein die größten Verluste an Futterenergie über den Kot und beim Geflügel über die Exkremente (Kot + Harn) auftreten und daß sich deshalb Rationen für Schweine auf der Basis des verdaulichen Nährstoffgehaltes und Rationen für Geflügel nach dem Gehalt an umsetzbaren Nährstoffen (Vögel scheiden Kot und Harn gemeinsam über die Kloake aus) am besten vergleichen lassen. Als Bewertungsmaßstab für Schweinerationen schlug LEHMANN deshalb die Summe der verdaulichen Nährstoffe (in g) = Gesamtnährstoffe (GN) vor. Der hohen Verwertbarkeit von Fett trug auch er, in Anlehnung an die Versuche von HONCAMP (1921), durch Multiplikation des Gehaltes an verdaulichem Fett mit dem Faktor 2,3 Rechnung. Die Futterwertbemessung nach Gesamtnährstoffen wurde bis heute in Deutschland in der praktischen Schweinefütterung beibehalten.

Alle Verfahren zur leistungsgerechten Beurteilung von Futterrationen haben letztlich ihren Ausgangspunkt in der Bestimmung der partiellen Verdaulichkeit der Nährstoffe in Futtereinzelkomponenten und Futtermischungen. Da es bis heute nicht gelungen ist, die komplex miteinander verknüpften physikalischen, chemischen und enzymatischen Vorgänge bei der Verdauung im Laboratoriumsversuch nachzuvollziehen, bleibt weiterhin die direkte Feststellung der Verdaulichkeit der Nährstoffe am Versuchstier unumgänglich. Man war deshalb stets bemüht, den klassischen Verdauungsversuch technisch einfacher zu gestalten und zeitlich abzukürzen.

Beim klassischen Ausnutzungsversuch (Kotsammelmethode)

wird das Versuchstier über einen längeren Zeitraum mit täglich gleichen Futtermengen gefüttert und die korrespondierenden Kotmengen in einem Stoffwechselkäufig aufgesammelt. Aus der Differenz der im gleichen Zeitraum mit den im Futter aufgenommenen und mit dem Kot wieder ausgeschiedenen Nährstoffmengen ergibt sich die Verdaulichkeit der Nährstoffe.

Die beim klassischen Verdauungsversuch notwendige arbeitsaufwendige Feststellung der Futteraufnahme und des Kotabsatzes läßt sich umgehen, wenn dem Futter eine unverdauliche Indikatorsubstanz in bekannter Konzentration homogen eingemischt wird. Es genügt dann zur Berechnung der Verdaulichkeit, die Indikatorkonzentration im Kot zu ermitteln. Von allen bisher als Indikator eingesetzten Substanzen hat sich nur das von EDIN (1918, 1926, 1929, 1930) vorgeschlagene Chrom-III-oxid als brauchbar erwiesen. Die Cr_2O_3 -Indikatormethode zur vereinfachten Verdaulichkeitsbestimmung ist heute neben der klassischen Kotsammelmethode allgemein verbreitet.

Eine besondere Variante des klassischen Verdauungsversuches stellt die von SPALLANZANI (1785) bereits vor 200 Jahren praktizierte Technik dar: SPALLANZANI zerkleinerte verschiedene Gräser- und Getreidesorten und füllte das Material in kleine, an beiden Seiten offene Messingröhrchen. Die in Leinwandsäckchen eingenähten Röhrchen gab er Schafen, Rindern bzw. Pferden über eine Schlundsonde in den Magen ein. Nach der Magen-Darmpassage suchte er im Kot die ausgeschiedenen Futterbehälter auf und studierte durch organoleptische Untersuchungen die durch die Verdauung erfolgten Veränderungen des Untersuchungsmaterials.

Dieses Verfahren wurde erst in neuester Zeit wieder interessant, nachdem es technisch gelang, permeable Kunststoffgewebe und -folien herzustellen, aus denen für Verdaulichkeitsbestimmungen Futterbehälter beliebiger Größe und Form angefertigt werden konnten. Dieses im amerikanischen

Schrifttum als "nylonbag-technique" bezeichnete Verfahren wurde jedoch bisher nur beim Wiederkäuer zum Studium der partiellen Verdauung im Pansen eingesetzt (ERWIN und ELLISTON 1959, ARCHIBALD 1961, VAN KEUREN und HEINEMANN 1962, ALGEO u. Mit. 1968, HOPSON u. Mit. 1963 und NEATHE-RIE 1969): Das zerkleinerte Untersuchungsmaterial wird in kleine Beutel aus Nylongewebe abgepackt und über eine künstlich angelegte Fistel in den Pansen der Versuchstiere verbracht. Nach einer bestimmten Zeit werden die Beutel wieder aus dem Pansen entnommen und auf ihren unverdauten Inhalt hin untersucht.

Die von HUTYRA und MAREK (1952) beschriebene "SCHMIDTsche Kernprobe" zur Untersuchung der Pankreasaktivität beim Hund gibt einen Hinweis darauf, daß derartige Futterbeutel auch den gesamten Magen-Darm-Kanal beim monogastrischen Tier passieren können: Bei der SCHMIDTschen Kernprobe wird eine Fleischprobe in einen Gazebeutel eingenäht und dem Versuchstier peroral eingegeben. Nach der Magen-Darm-Passage wird der Gazebeutel im Kot aufgesucht und der Grad der Enzymaktivität an der eingenähten Fleischprobe überprüft.

Die Brauchbarkeit der Nylonbeutel-Technik (NBT) zur Bestimmung der Gesamtverdaulichkeit von Futterrationen am Schwein wurde erstmals in unseren Instituten studiert (PETRY 1969, RAPP 1972, RECH 1973). Der besondere Vorteil bei Anwendung dieses Verfahrens wurde darin gesehen, daß einerseits im Gegensatz zum gewöhnlichen Ausnutzungsversuch (klassische Kotsammelmethode bzw. Cr_2O_3 -Indikatormethode) die Verdaulichkeit mehrerer in Nylonbeutel abgepackter Rationen gleichzeitig an einem Versuchstier bestimmt werden könnte. Andererseits müßten dabei nur geringe Mengen der zur Verdaulichkeitsbestimmung anstehenden Rationen zur Verfügung stehen. Nachdem es gelungen war, eine zur Herstellung von Futterbeuteln geeignete Kunststoffolie zu finden und das Problem

der Wiederausscheidung der Futterbeutel befriedigend zu lösen (RECH 1973), wurde als erstes Kriterium für die Brauchbarkeit der NBT zur Bestimmung der Gesamtverdaulichkeit die Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeit verschiedener Mischfutterrationen in Nylonbeuteln ermittelt (RAPP 1972, RECH 1973). Die erzielten Resultate stimmten gut mit den gleichzeitig an denselben Versuchstieren nach der Cr_2O_3 -Methode bestimmten Werten überein. Eine Beeinflussung der Trockensubstanz-Verdaulichkeit der in Nylonbeutel abgepackten Futterproben durch die Futterverdaulichkeit des bei der "Beutelpassage" an die Versuchstiere gefütterten Haltungsfutters oder durch dessen Zusammensetzung aus Einzelkomponenten konnte nicht beobachtet werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde zur weiteren Absicherung der Zuverlässigkeit der Nylonbeutel-Technik die Verdaulichkeit von Protein, Fett und N-freier Restsubstanz sowie der Futterenergie vergleichend untersucht.

MATERIAL UND METHODIK

1. Gewinnung des Untersuchungsmaterials

Die nachstehend beschriebenen Verdaulichkeitsversuche an Schweinen wurden gemeinsam mit RECH (1973) und RAPP (1972) durchgeführt. RECH und RAPP bestimmten die Trockensubstanz-Verdaulichkeit der Versuchsdiäten vergleichend nach der Nylonbeutel-Technik (NBT) und dem Cr_2O_3 -Indikatorverfahren. In der vorliegenden Arbeit wurde das aus diesen Versuchen anfallende Untersuchungsmaterial vergleichend hinsichtlich der Verdaulichkeit von Protein, Fett, N-freier Restsubstanz, organischer Substanz und Futterenergie untersucht.

Diese Verdaulichkeitsuntersuchungen wurden an jeweils 3 bzw. 4 kastrierten Ebern (DL) in der Gewichtsklasse von 30 - 70 kg durchgeführt. Die Tiere wurden einzeln in Stoffwechselkäfigen nach FARRIES und OSLAGE (1961) gehalten, die eine quantitative Aufnahme der angebotenen Futterrationen sowie das getrennte Sammeln von Harn und Kot gewährleisten.

Zur Feststellung der Verdaulichkeit nach der NBT wurden Futterbeutel in Tetraederform (30x10x10 mm) mit Hilfe eines Schweißgerätes¹⁾ aus dem monofilen Nylongewebe Nylal 5 μ Spezial²⁾ hergestellt. Die mit schwarzer Wäschetusche gekennzeichneten Beutel wurden bis zu 2/3 ihres Fassungsvermögens mit dem zur Verdaulichkeitsbestimmung anstehenden lufttrockenen feingemahlten (Cr_2O_3 -freien) Untersuchungsmaterial (500 mg Chargen) gefüllt. Gleichzeitig wurde der Trockensubstanzgehalt des Untersuchungsmaterials bestimmt. Die fertigen Futterbeutel wurden einzeln in magensaftlösliche Gelatinekapseln³⁾ gesteckt und den Versuchs-

1) Schweißgerät (Type 69) zum Verschweißen thermoplastischer Kunststoffolien, Fa. G. WIEDMANN KG, Stuttgart

2) Schweiz. Seidengaze-Fabrik AG, Thal/St. Gallen

3) Capsulae Gelatinosae 1,0 ccm, magenlöslich; Fa. G. POHL-BOSKAMP, Hohenlockstedt/Holstein

schweinen über eine Schlundsonde direkt in den Magen eingegeben (5-6 Beutel/Versuchstier). Nach der Passage durch den Tierkörper wurden die Nylonbeutel im Kot aufgesucht, äußerlich von anhaftenden Kotresten gereinigt und zur späteren analytischen Aufarbeitung aufbewahrt.

Zur Feststellung der Verdaulichkeit nach dem Indikatorverfahren wurden in jede Versuchsdiät 0,5% Chrom-III-oxid (analytisch eingewogen) homogen eingemischt. Zuvor wurde eine ausreichende (Cr_2O_3 -freie) Menge der Versuchsdiät zum Füllen der Nylonbeutel sowie zur Bestimmung des Nährstoffgehaltes und der Futterenergie entnommen. Für die spätere Berechnung der Verdauungskoeffizienten nach dem Indikatorverfahren wurde der tatsächliche Cr_2O_3 -Gehalt im Futter über repräsentative Stichproben durch Mehrfachanalyse ermittelt.

Vor dem Verdauungsversuch wurden die Schweine an die jeweilige (Cr_2O_3 -haltige) Versuchsdiät adaptiert und danach der ad-libitum-Verzehr individuell festgestellt. Anschließend wurden den Versuchsschweinen 7 Tage lang täglich zweimal (8.00 Uhr und 16.00 Uhr) gleiche Mengen der Versuchsdiät ($\approx 90\%$ des ad-libitum-Verzehres) mit wenig Wasser angeboten. Am 8. und 9. Versuchstag wurde von jedem Schwein der Cr_2O_3 -haltige 24-Stunden-Kot gesammelt, dieser bei 105°C 12 Stunden lang getrocknet und dann in einer staubdichten Messermühle homogenisiert. Von den einzelnen Tageskotmengen wurden aliquote Teilproben entnommen, diese nochmals 3 Stunden lang bei 105°C getrocknet und dann im Exsikkator über Phosphorpentoxid zur späteren Bestimmung des Chromoxid-, Nährstoff- und Energiegehaltes aufbewahrt.

Unmittelbar nach der Kotsammlung wurden die mit dem (Cr_2O_3 -freien) Untersuchungsmaterial gefüllten Nylonbeutel den Schweinen eingegeben. Wie RECH (1973) bei der methodischen Entwicklung der hier beschriebenen NBT fest-

stellte, war eine befriedigende Wiederauffindungsrate der Futterbeutel im Kot nicht zu erreichen, wenn die Schweine während der 3 Tage andauernden Passage der Beutel durch den Magen-Darm-Kanal wie üblich zweimal täglich gefüttert wurden. Nach den Untersuchungen von RECH konnten die eingegebenen Futterbeutel in befriedigender Anzahl nur wiedergefunden werden, wenn bei der "Beutelpassage" die folgende Intervallfütterung angewendet wurde: Die Schweine wurden am Tag der Beuteleingabe (etwa um 9.00 Uhr) weder gefüttert noch getränkt. Am darauffolgenden Morgen wurde den Tieren einmalig die doppelte Futtermenge und zu den sich daran anschließenden Mahlzeiten wieder einfache Rationen angeboten. Im Verlauf des dritten Tages nach der Beuteleingabe wurden dann i.d.R. über 75% der eingegebenen Futterbeutel im Kot ausgeschieden.

2. Verdauungsversuche

Nach der beschriebenen Methodik wurden 12 verschiedene Mischfutterrationen, deren Zusammensetzung auf Seite 60-66 (Anhang) angegeben ist, vergleichend untersucht:

In einem orientierenden Vorversuch wurde ein handelsübliches Schweinemastalleinfutter I (Versuchsdiät 1) verfüttert. Die Verdaulichkeitskoeffizienten wurden parallel nach der Cr_2O_3 -Methode und der NBT an denselben Versuchstieren ermittelt.

Um die Zuverlässigkeit der Verdaulichkeitsbestimmung durch die NBT für einen weiteren Verdaulichkeitsbereich überprüfen zu können, wurde in einer Versuchsreihe ein Schweinemastfertigfutter I fortschreitend durch Zulage von 0% - 17,8% - 30,7% unverdaulicher Buchenholz-Cellulose verdünnt (Verdünnungsversuche). Die Verdaulichkeit der so erhaltenen Versuchsdiäten

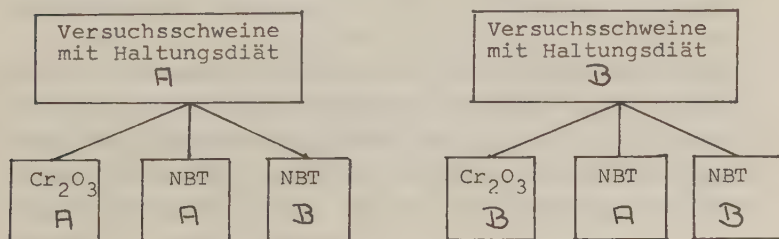
Versuchsdiät 2 = Schweinemastfertigfutter I, unverdünnt

Versuchsdiät 3 = Versuchsdiät 2 + 17,8% Cellulose

Versuchsdiät 4 = Versuchsdiät 2 + 30,7% Cellulose
wurde parallel nach dem Indikatorverfahren und in Nylonbeuteln an denselben Versuchstieren festgestellt.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden in gleicher Weise vier in eigener Mischung hergestellte Versuchsdiäten (Versuchsdiäten 5-8) untersucht, die sich in der Zusammensetzung ihrer Einzelkomponenten voneinander unterschieden.

In den bisherigen Versuchen war das in die Nylonbeutel eingeschweißte Untersuchungsmaterial identisch mit dem während der "Beutelpassage" an die Versuchsschweine gefütterten Haltungsfutter. Um eine eventuelle Beeinflussung der Verdaulichkeit des in die Beutel abgefüllten Untersuchungsmaterials durch Art und Zusammensetzung des Haltungsfutters studieren zu können, wurden in zwei Versuchsreihen (Überkreuzversuche) jeweils zwei Versuchsdiäten nach dem unten abgebildeten Schema "überkreuzt" untersucht. Dabei wurde die Verdaulichkeit der Diäten A und B in Nylonbeuteln gleichzeitig an denselben Tieren untersucht, deren Haltungsdiet zuerst aus der Diät A und in der sich anschließenden Fütterungsperiode aus Diät B bestand. Parallel zur NBT wurde die Verdaulichkeit der jeweiligen Haltungsdiet nach der Cr_2O_3 -Methode bestimmt.



Im ersten Überkreuzversuch wurden eine (unverdünnte) Getreideschrottdiät (Versuchsdiet 9) und die gleiche mit 20% unverdaulichem Polyäthylpulver verdünnte Getreideschrottdiät (Versuchsdiet 10) untersucht.

In einem zweiten Überkreuzversuch wurden zwei sich in der Zusammensetzung an Futtereinzelkomponenten unterscheidende Versuchsdieten (Versuchsdiet 11: Mais-Soja und Versuchsdiet 12: Gerste-Weizen-Mais) untersucht.

3. Methodik

3.1 Chromoxid-Analytik

Der Cr_2O_3 -Gehalt in korrespondierenden Futter- und Kotproben wurde nach Angaben von PETRY und RAPP (1971) ermittelt: Mit Hilfe eines Oxydationsgemisches aus konzentrierter Schwefelsäure und 70%-iger Perchlorsäure wurde in der Hitze in einem Arbeitsgang die organische Substanz des Untersuchungsmaterials verascht und das darin enthaltene Chrom-III-oxid (Cr-III) zu Chromat (Cr-VI) oxydiert. In der nach dem Aufschluß enthaltenen Lösung wurde das nach Alkalisieren ($\text{pH} > 11$) mit Natronlauge enthaltene Monochromat (CrO_4^{2-}) photometrisch bei 370 nm bestimmt.

3.2 Rohnnährstoffanalyse

Bei der hier beschriebenen Nylonbeutel-Technik können Futterbehälter den gesamten Verdauungskanal der Versuchsschweine nur dann ungestört passieren, wenn sie in ihren Abmessungen auf den kleinsten Öffnungsquerschnitt des Verdauungskanals (Ostium pylori) abgestimmt sind. Bei unseren Versuchen wurden für 30 - 70 kg schwere Schweine etwa 30x10x10 mm große Nylonbeutel als optimal befunden (RECH 1973). In diese Beutel konnten maximal 500 mg Chargen des zur Verdauungsbestimmung anstehenden Untersuchungsmaterials (lufttrockene Mischfuttermittel-

nen) eingefüllt werden. Da die Futtertrockensubstanz der meisten hier untersuchten Mischfütterationen zu etwa 80% verdaulich war, enthielten die Futterbeutel nach der Passage durch den Tierkörper nur noch etwa 100 mg an unverdaut gebliebenen Futterbestandteilen. Obwohl bei den vorliegenden Untersuchungen die Bestimmung des Rohnährstoffgehaltes im Mikroverfahren erfolgte, war es dennoch nicht möglich, Nährstoff- sowie Energiegehalt des nach der Magen-Darm-Passage unverdaut gebliebenen Anteils des Untersuchungsmaterials am Einzelbeutel zu ermitteln. Für diese Bestimmungen war eine Mindestmenge von etwa 1600 mg (ausreichend für Doppelbestimmungen) an Probenmaterial erforderlich. Es wurden deshalb in jedem Versuch von allen wiedergefundenen Beuteln die unverdaut gebliebenen Inhalte zu einer Mischprobe vereint. Da die einzelnen analytischen Werte jeweils auf Trockensubstanz bezogen werden mußten, wurden zur Umgehung einer Trockensubstanz-Bestimmung (Materialeinsparung) diese bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Mischproben im Exsikkator über Phosphorpentoxid aufbewahrt und davon für die einzelnen analytischen Bestimmungen Teilproben direkt als Trockensubstanz entnommen.

Bei der Ermittlung der Verdaulichkeit nach dem Cr_2O_3 -Verfahren wurden deshalb auch in jedem Versuch von den einzelnen Versuchstieren über repräsentative Stichproben gewonnene Kotmischproben auf den Nährstoff- und Energiegehalt untersucht. Bei der Berechnung der Verdaulichkeitskoeffizienten wurde der Chromoxidgehalt in den Futter- und Kotproben durch Abzug von der jeweiligen Bruttoeinwaage berücksichtigt.

Die Zuverlässigkeit der hier entwickelten Rohnährstoff-Mikroanalytik wurde überprüft, indem die Nährstoffgehalte eines Mischfutters vergleichend nach der Mikromethode und der Makromethode festgestellt wurden. Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, stimmte die Analysengenauigkeit

der Mikromethode sehr gut mit der der Makromethode überein.

Tabelle 1

Rohnährstoffgehalt (%) einer Versuchsration, bestimmt im Mikro- und Makroverfahren bei unterschiedlichen Einwaagen (mg) des lufttrockenen Untersuchungsmaterials

Einwaage		Rohprotein		Rohfett		Rohasche	
Mikro	Makro	Mikro	Makro	Mikro	Makro	Mikro	Makro
200	2000	18,61	18,48	3,48	3,32	7,05	6,85
		18,32	18,54	3,54	3,29	7,12	6,89
300	3000	18,48	18,72	3,56	3,26	6,90	6,92
		18,42	18,67	3,61	3,28	6,99	6,89
400	4000	18,39	18,58	3,59	3,24	7,00	6,90
		18,38	18,61	3,55	3,23	7,02	6,87
500	5000	18,47	18,65	3,60	3,25	6,99	6,90
		18,54	18,60	3,51	3,28	6,99	6,95
600	6000	18,57	18,59	3,55	3,30	7,02	6,87
		18,48	18,63	3,57	3,27	7,03	6,90
Mittelwert:		18,47	18,61	3,56	3,27	7,01	6,90
Streuung:		± 0,09	± 0,07	±0,04	±0,03	±0,05	±0,03

3.21 Bestimmung des Rohproteins

Da der Stickstoffgehalt von Proteinen annähernd bei 16% liegt, läßt sich aus dem experimentell ermittelten Stickstoffgehalt einer Analysenprobe deren Proteingehalt errechnen. Bei der nassen Veraschung durch konzentrierte Schwefelsäure nach KJELDAHL werden aber neben den eigent-

lichen Proteinen auch nicht eiweißartige Verbindungen wie Alkaloide, Ammoniumverbindungen, Harnstoff oder Aminosäuren erfaßt. Dies wird durch den Begriff "Rohprotein" zum Ausdruck gebracht.

Durchführung:

Reagentien: Konzentrierte Schwefelsäure ($d = 1,84$); 0,25 N Schwefelsäure; 33 gew. %ige Natronlauge; 0,25 N Natronlauge; Selenreaktionsgemisch (nach WIENINGER); Tashiro-Indikator (pH 4,4 - 5,8).

Aufschluß: 200 mg Chargen des Untersuchungsmaterials wurden in einem 100 ml KJELDAHL-Kolben mit 5 ml konzentrierter Schwefelsäure unter Verwendung von Selenreaktionsgemisch über einem Mikrobrenner verascht. Die nach dem Aufschluß klare und farblose Lösung wurde nach Abkühlung quantitativ in eine Mikro-KJELDAHL-Apparatur nach BÜCHI¹⁾ überführt und mit 33%iger Natronlauge alkalisiert (Tashiro-Indikator). Danach wurde die Probe mit Wasserdampf zum Sieden gebracht und das dabei austretende Ammoniak in einer Vorlage von 10 ml 0,25 N Schwefelsäure (Tashiro-Indikator) aufgefangen. Dieser Vorgang ist nach ca. 15 Minuten beendet. Anschließend wurde die in der Vorlage nicht verbrauchte Schwefelsäure mit 0,25 N Natronlauge titrimetrisch bestimmt (Tashiro-Indikator) und der Proteingehalt der Probe in der üblichen Weise berechnet ($P = 6,25 \times N$).

Entgegen den allgemein üblichen Aufschlußzeiten von 8 Stunden wurden in diesen Versuchen die Analysenproben 16 Stunden lang verascht. Veranlassung hierzu gab ein Versuch, in dem mehrere Proben des gleichen Untersuchungsmaterials (Schweinemastfertigfutter) unterschiedlich lange verascht und dabei in Abhängigkeit von der Veraschungsdauer unterschiedliche Proteingehalte gefunden wurden. Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, konnten erst nach einer Veraschungsdauer von über 14 Stunden reproduzierbare Proteingehalte erzielt werden.

1) Glasapparate-Fabrik FLAGGIL, Basel/Schweiz

Tabelle 2

Proteingehalt (%) einer Analysenprobe in Abhängigkeit von der Veraschungsdauer (h)

Veraschungsdauer:	8	10	12	14	16	18	20
Proteingehalt:	18,2	19,4	19,9	20,7	21,2	21,1	21,2

3.22 Bestimmung des Rohfettes

Bei der Ätherextraktion nach SOXHLET werden einerseits neben den eigentlichen Fetten (Ester des Glycerins) auch Lipotide, Sterine, Karotinoide, ätherische Öle, Lecithine, Harze u.a. erfaßt, was man durch die Bezeichnung "Rohfett" berücksichtigt. Andererseits ist es nicht möglich, aus pflanzlichen Futtermitteln das Fett quantitativ zu extrahieren, da ein Teil erst nach Zerstörung der Zellwände durch Äther angegriffen werden kann. Dieser nicht extrahierbare Anteil am Gesamtfett ist jedoch bei Futtermitteln (mit wenigen Ausnahmen, z.B. bei Milchhefe etwa 50%) mit 0,5 - 2% vernachlässigbar klein.

Durchführung: In fettfreie, 10x50 mm große SOXHLET-Hülsen¹⁾ wurden 200 mg Chargen des Untersuchungsmaterials eingewogen und in einem Extraktionsapparat nach GORBACH (1956) mit peroxid- und wasserfreiem Äther bei 70° C kontinuierlich über 6 Stunden destilliert. Danach wurde der Äther aus dem Auffangkolben restlos abgedampft, der Kolben dann im Trockenschrank bei 105° C getrocknet und nach Abkühlung im Exsikkator gewogen. Die Gewichtszunahme des vor Versuchsbeginn gewogenen Auffangkölbcchens repräsentierte die in der eingewogenen Probe enthaltene Rohfettmenge, die in % der Einwaage berechnet wurde.

1) Extraktionshülsen Nr. 603, Fa. C. SCHLEICHER und SCHÜLL, Dassel/Krs. Einbeck

3.23 Bestimmung der Rohasche

Zu welchen Anteilen die Trockensubstanz aus organischen und anorganischen Substanzen besteht, stellt man durch Veraschung von Futtermittel fest.

Durchführung: 200 mg Chargen des Untersuchungsmaterials wurden in kleine, vorgeglühte Porzellantiegel mit bekanntem Gewicht eingewogen und in einem elektrischen Muffelofen bei 600°C so lange geglüht, bis ein weißlich-grauer Rückstand verblieb (etwa 16 Stunden). Nach dem Abkühlen im Exsikkator wurde der Porzellantiegel gewogen und aus der Gewichts Differenz des veraschten Materials die Rohasche in % der Einwaage berechnet. Durch die Differenz Trockensubstanz minus Asche ist die organische Substanz gegeben.

3.24 Bestimmung der stickstofffreien Restsubstanz

Bei der Rohnährstoffanalyse im Makroverfahren ist neben der Bestimmung von Rohprotein und Rohfett auch die Bestimmung des Rohfaseranteils möglich. Die N-freien Extraktstoffe (NFE) werden in Ermangelung befriedigender Analysenverfahren rechnerisch durch den Abzug der Komponenten Rohfaser, Protein, Fett und Asche von der Trockensubstanz ermittelt. In der vorliegenden Arbeit ist es nicht gelungen, die Rohfaserbestimmung zu einem Mikroverfahren zu modifizieren. Es wurde deshalb die gesamte Kohlenhydratfraktion als stickstofffreie Restsubstanz (NFR) rechnerisch als Trockensubstanz - (Rohprotein + Rohfett + Rohasche) bestimmt.

3.3 Bestimmung der Verbrennungswärme im Bombenkalorimeter

Die in einem Futtermittel enthaltene chemische Energie wird im Bombenkalorimeter nach BERTHELOT in Gegenwart von reinem Sauerstoff durch vollständige Verbrennung als

Verbrennungswärme ermittelt. Diese wird indirekt über die Temperaturerhöhung einer bekannten Wassermenge bestimmt (WHITE 1928, STURTEVANT 1945, KLEIBER 1950, ROTH 1956).

In der vorliegenden Arbeit wurde zur Bestimmung der Verbrennungswärme der Futter- und Kotproben ein adiabatisches Kalorimeter¹⁾ verwendet, welches nach dem folgenden Prinzip arbeitet: Der Außenkessel (Kalorimetermantel) wird kontinuierlich über eine Kühlschlange durch Leitungswasser gekühlt. Die Temperatur des Wassers im isolierenden Außenkessel und im Kalorimetergefäß wird fortlaufend durch Temperaturfühler (Widerstandsthermometer) gemessen, die Bestandteile einer WHEATSTONEschen Meßbrücke sind. Der Temperaturfühler im Kalorimetergefäß überträgt jede Temperaturveränderung des Kalorimeterwassers auf die Wechselstrombrücke, die eine Elektrodenheizung im Außenkessel ansteuert. Erhöht sich die Temperatur des Kalorimeterwassers (Verbrennung des Untersuchungsmaterials), so wird die Heizung im Außenkessel eingeschaltet. Durch diesen Regelvorgang bleibt die Temperatur im Außenkessel während des Versuchsablaufes stets gleich der des Kalorimetergefäßes (Adiabasie). Ein Wärmeaustausch des Kalorimetergefäßes an die Umgebung durch Konvektion oder Strahlung ist deshalb ausgeschlossen. Die daraus resultierenden Vorzüge liegen auf der Hand. Einmal entfallen Korrekturen, welche die Temperatur-Ungleichheit zwischen den beiden Kesseln bei einem nicht adiabatischen Kalorimeter nötig macht. Zum anderen ist nur noch je eine Temperaturablesung zu einem beliebigen Zeitpunkt während des Vor- und Nachversuches notwendig. Aus diesen beiden Temperaturen (t_v , t_n) erhält man unmittelbar den zur Berechnung des Heizwertes nötigen Δt -Wert.

Vor der Bestimmung des Heizwertes der Analysenproben mußte das Kalorimeter durch Ermittlung seines "Wasserwertes"

1) Adiabatisches Kalorimeter JKA, Fa. JANKE und KUNKEL, Staufen/Breisgau

geeicht werden. Unter dem "Wasserwert" versteht man das Energieäquivalent eines Kalorimeters, d.h. diejenige Wassermenge, welche dieselbe Wärmekapazität besitzt, wie das Kalorimeter mit allen an der Temperaturveränderung teilnehmenden Bestandteilen (Kalorimeterwasser, Kalorimetergefäß, Bombe, Rührwerk, Thermometer etc.). Um die umständliche Bestimmung der Wärmekapazitäten dieser einzelnen Bestandteile zu umgehen, bestimmt man deren Gesamtwärmekapazität durch Verbrennung einer Eichsubstanz mit bereits bekanntem Heizwert. Da 1 g Wasser durch die Wärmemenge von 1 cal um 1° C (genau von 14,5° C auf 15,5° C) erwärmt wird, läßt sich über die erzielte Temperaturerhöhung im Kalorimeter die bei der Verbrennung einer Substanz angegebene Wärmemenge ermitteln.

Die Berechnung des Wasserwertes erfolgt nach

$$W = \frac{Q_o \times E}{t_n - t_v},$$

wobei W = Wasserwert des Kalorimeters (cal/°C; Q_o = Verbrennungswärme (cal/g) der Eichsubstanz; E = Einwaage der Eichsubstanz (g); t_v = Temperatur (° C) des Kalorimeterwassers vor der Verbrennung; t_n = Temperatur (° C) des Kalorimeterwassers nach der Verbrennung sind. Bei Kenntnis des Wasserwertes ergibt sich die Verbrennungswärme einer Analysenprobe wie folgt

$$Q = \frac{W (t_n - t_v)}{E},$$

wobei Q = Verbrennungswärme (cal/g) des Untersuchungsmaterials; E = Einwaage (g) des Untersuchungsmaterials und die anderen Symbole wie vorher definiert sind.

Zur Bestimmung des Wasserwertes wurde als Eichsubstanz Benzoesäure¹⁾ mit dem garantierten Heizwert von 6323 cal/g verwendet. Der Wasserwert wurde im Verlauf der Untersuchungen mehrmals mit unterschiedlichen Benzoesäure-Einwaagen bestimmt. Er war dabei gut reproduzierbar, wie

1) National Bureau of Standards, Washington

die nachstehende Tabelle zeigt. Bei allen Eichungen und Versuchen wurde die Wassermenge im Kalorimetergefäß durch Wägung auf einer METTLER-Analysenwaage konstant gehalten (2780 g bei 22° C).

Tabelle 3

Bestimmung des Wasserwertes W (cal/°C) bei unterschiedlichen Einwaagen (mg) von Benzoesäure

Einwaage	Wasserwert
171,7	2529
196,5	2537
224,2	2534
397,2	2528
478,5	2529
Mittelwert:	2531
Streuung:	± 4

Durchführung: 200 mg Chargen des lufttrockenen Untersuchungsmaterials wurden mit Hilfe einer Spindelpresse zu Pastillen von 12 mm Durchmesser gepreßt. Dabei wurde ein Zünddraht aus Eisen von 10 cm Länge (13 cal und 0,0096 g/10 cm) miteingepreßt. Die Pastillen wurden anschließend im Trockenschrank bei 105° C etwa 12 Stunden lang getrocknet und nach Abkühlung im Exsikkator über Phosphorpentoxid auf einer Analysenwaage gewogen. Die Pastillen wurden in einem Quarztiegel in die Kalorimeterbombe verbracht und die Enden des Zünddrahtes mit den Elektroden im Bombendeckel verbunden. Nach Verschluß der Bombe wurde diese mit reinem Sauerstoff bis zu einem Druck von 25 - 30 atü gefüllt. Die Kühlung des Kalorimeterraußenskessel erfolgte durch Leitungswasser von 14 - 16° C bei einer Durchlaufgeschwindigkeit von 6 - 8 Litern/Minute. Nachdem sich die Wassertemperaturen von Innen- und Außenskessel

1) National Bureau of Standards, Washington

angeglichen hatten, blieben sie aufgrund der Adiabasie konstant. Die Temperatur t_v konnte deshalb zu einem beliebigen Zeitpunkt vor der Zündung (Vorversuch) abgelesen werden. Der Temperatúrausgleich zwischen den Kalorimeterbombe und dem Kalorimeterwasser (Hauptversuch) war etwa 10 - 12 Minuten nach der Zündung beendet und die nun ebenfalls konstant bleibende Temperatur t_n des Kalorimeterwassers konnte abgelesen werden (Nachversuch). Das zur Temperaturablesung verwendete BECKMANN-Thermometer war auf $0,01^\circ \text{C}$ geeicht; über eine Lupe konnten noch $1/1000^\circ \text{C}$ gut abgeschätzt werden.

Das von uns verwendete Kalorimeter reagierte sehr empfindlich auf Schwankungen der Netzspannung, die nach eigenen Messungen zwischen 185 - 230 V betragen konnten. Durch diese Netzschwankungen war der elektronisch gesteuerte adiabatische Verlauf des Verbrennungsvorganges gestört (Driften der Wassertemperatur im Kalorimeter). Durch den nachträglichen Einbau eines Spannungskonstanthalters konnten diese Störungen jedoch beseitigt werden. Die Reproduzierbarkeit der von Futter- und Kotproben bestimmten Verbrennungswärmen geht aus der folgenden Tabelle hervor.

Tabelle 4

Mehrfachbestimmungen der Verbrennungswärme (cal/g) einer lufttrockenen Futter- bzw. Kotprobe bei unterschiedlichen Einwaagen (mg)

Einwaage	Verbrennungswärme	
	Futterprobe	Kotprobe
150	4214	4189
200	4326	4278
250	4291	4255
300	4315	4214
350	4267	4285
Mittelwert:	4283	4244
Streuung:	± 45	± 41

3.4 Berechnungen

3.41 Die Verdauungskoeffizienten D (%) von Protein D_P , organischer Substanz D_{OS} , N-freier Restsubstanz D_{NFR} sowie der Energie D_E wurden entsprechend der folgenden Formel aus den in korrespondierenden Futter-, Kot- bzw. "Beuteltot"-Proben¹⁾ gefundenen Gehalten berechnet:

$$D = \frac{100 \times F - (100 - D_{TS}) \times K}{F},$$

wobei D = der jeweilige Verdauungskoeffizient (%);

F = Rohnährstoffgehalt (g) bzw. Energiegehalt (cal/g) im Futter;

K = Rohnährstoffgehalt (g) bzw. Energiegehalt (cal/g) im Kot bzw. "Beuteltot";

D_{TS} = Trockensubstanz-Verdaulichkeit (%) der jeweiligen Versuchsdiet

sind.

3.42 Die verdauliche Energie (VE) wurde berechnet

a. als Differenz des im Bombenkalorimeter ermittelten Energiegehaltes im Futter (E_F) und Kot bzw. "Beuteltot" (E_K):

$$VE_K \text{ (cal/g)} = E_F \text{ (cal/g)} - \frac{100 - D_{TS} \text{ (%)}}{100} \times E_K \text{ (cal/g)}$$

b. nach ATWATER über den Gehalt an verdaulichen Nährstoffen und deren kalorische Äquivalente (Seite 9):

$$VE_A \text{ (cal/g)} = 5,6 \times x_1 + 2,25 \times (9,3 \times x_2) + 4,3 \times x_3,$$

wobei x_1 , x_2 und x_3 die Gehalte (g) an verdaulichem Protein, Fett bzw. Kohlenhydraten, die numerischen Faktoren 5,6 - 9,3 - 4,3 deren kalorische Äquivalente

1) Der nach der Tierkörperpassage in den Nylonbeuteln aufgefundene unverdaute Anteil des Untersuchungsmaterials sei im folgenden kurz "Beuteltot" genannt.

(cal/g) und 2,25 der kalorogene Verwertbarkeitsfaktor von Fett sind.

- c. nach WOLL aus der Summe der verdaulichen Nährstoffe (TDN), multipliziert mit dem kalorischen Äquivalent von 4,4 cal/g TDN (Seite 10):

$$VE_W \text{ (cal/g)} = 4,4 (x_1 + 2,25 x_2 + x_3)$$

- d. nach LOFGREEN-ATWATER (Seite 10):

$$VE_{L,A} \text{ (cal/g)} = F_L \times VE_A ,$$

wobei F_L = Korrekturfaktor nach LOFGREEN, VE_A = Verdauliche Energie nach ATWATER sind.

- e. Über die von NEHRING und Mitarbeiter (Seite 7) für Kraftfutterrationen beim Schwein angegebene multiple Regressionsgleichung. In der vorliegenden Arbeit wurde die Kohlenhydratfraktion nicht getrennt nach Rohfasergehalt und Gehalt an N-freien Extraktstoffen untersucht (Seite 25). Entsprechend dem durchschnittlichen Rohfaseranteil (6%) und dem mittleren Gehalt an N-freien Extraktstoffen (60%) in Schweinerationen wurde bei dieser Berechnung für die N-freie Restsubstanz (Rohfaser + NFE) ein entsprechend gewichteter Regressionskoeffizient von 4,18¹⁾ angenommen.

$$VE_N \text{ (cal/g)} = 5,39 x_1 + 8,91 x_2 + 4,18 x_3$$

1) $4,18 = \frac{6 \times 4,15 + 60 \times 4,19}{66}$

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse sind in den nachstehenden Tabellen 5 - 8 angegeben.

In Tabelle 5 sind die nach dem Cr_2O_3 -Indikatorverfahren (Cr_2O_3 -D) und nach der Nylonbeutel-Technik (NBT-D) gefundenen Verdauungskoeffizienten D (%) von Futtertrockensubstanz (D_{TS}), Protein (D_{P}), Fett (D_{F}), N-freier Restsubstanz (D_{NFR}) und organischer Substanz (D_{OS}) sowie der Futterenergie (D_{E}) für die Versuchsdiäten 1 - 8 (Zusammensetzung Seite 60 - 64) angegeben.

In Tabelle 6 sind die für diese Diäten (1 - 8) aus der Differenz der experimentell im Bombenkalorimeter ermittelten Verbrennungswärmen von Futter von Kot bzw. "Beutelkot" berechneten Werte der verdaulichen Energie VE_{K} (cal/g) vergleichend (Cr_2O_3 - VE_{K} bzw. NBT- VE_{K}) gegenübergestellt. In Tabelle 6 sind außerdem für diese Diäten die aus den verdaulichen Nährstoffen über die von ATWATER (VE_{A}), WOLL (VE_{W}), LOFGREEN-ATWATER ($\text{VE}_{\text{L,A}}$) und NEHRING (VE_{N}) angegebenen Gleichungen (Seite 30-31) berechneten Werte der verdaulichen Energie aufgeführt.

Bei den Untersuchungen der Versuchsdiäten 1 - 8 waren Untersuchungsmaterial in den Nylonbeuteln und Haltungsfutter der Versuchstiere während der Passage der Futterbeutel identisch.

Die Versuchsdiäten 9 - 12 (Zusammensetzung Seite 65 - 66) wurden nach dem auf Seite 21 beschriebenen "Überkreuzverfahren" untersucht. Die Darstellung der Ergebnisse für diese Versuche erfolgt analog zu den Tabellen 5 und 6 in den Tabellen 7 und 8. Hierbei werden jedoch für die NBT aufgrund des "Überkreuzverfahrens" jeweils zwei NBT-Werte angegeben (NBT-D und X-NBT-D in Tabelle 7 bzw. NBT-VE und X-NBT-VE in Tabelle 8): Waren bei der Passage der Futterbeutel durch den Magen-Darm-Kanal Haltungsdiät der Versuchstiere und Untersuchungsmaterial in den Nylonbeu-

teln identisch, werden die in den Nylonbeuteln gefundenen Ergebnisse als NBT-Werte aufgeführt. Unterschieden sich dagegen Haltungsdiät und Untersuchungsmaterial, werden die Resultate als X-NBT-Werte bezeichnet. So wurde z.B. (Tabelle 7) die Futtertrokensubstanz-Verdaulichkeit der Versuchsdiät 9 in Nylonbeuteln mit 81,1 % (NBT-D_{TS}) bestimmt, wenn an die Schweine bei der Passage die Versuchsdiät 9 gefüttert wurde, und mit 82,1 % (X-NBT-D_{TS}), wenn die Tiere Versuchsdiät 10 bekamen.

Tabelle 5
Verdaauungskoeffizienten D (%) der Versuchsdiäten 1-8

Diät:	1	2	3	4	5	6	7	8
D _{TS}								
Cr ₂ O ₃	79,9	79,3	64,2	52,9	85,9	89,8	75,5	80,0
NBT	80,1	79,3	64,1	53,6	86,5	90,4	75,4	79,3
D _P								
Cr ₂ O ₃	88,1	82,1	74,6	69,6	90,0	90,3	87,5	88,6
NBT	91,0	92,0	85,9	81,4	93,8	95,3	90,6	93,2
D _F								
Cr ₂ O ₃	84,9	69,4	44,9	50,2	80,2	87,6	67,7	76,6
NBT	82,9	76,7	55,2	29,8	81,4	88,6	69,7	77,1
D _{NFR}								
Cr ₂ O ₃	82,4	82,5	65,3	50,9	87,6	92,6	76,1	80,8
NBT	75,6	75,1	58,2	48,1	85,0	89,5	72,9	76,0
D _{OS}								
Cr ₂ O ₃	83,9	82,0	66,5	54,3	87,9	91,8	78,0	82,2
NBT	80,1	78,9	62,9	52,6	86,9	90,7	76,1	79,6
D _E								
Cr ₂ O ₃	76,1	79,1	64,3	53,4	86,3	89,7	76,2	81,0
NBT	77,8	77,5	63,2	52,8	86,2	90,0	75,0	79,9

Tabelle 6

Verdauliche Energie VE (cal/g) der Versuchsdiäten 1-8

Diät:	1	2	3	4	5	6	7	8
VE experimentell bestimmt im Bombenkalorimeter (VE_K):								
Cr_2O_3	2864	3426	2776	2290	3932	4004	3440	3754
NBT	2927	3364	2729	2246	3935	3998	3390	3704
VE berechnet nach:								
Cr_2O_3	3437	3482	2801	2297	3736	4035	3304	3586
ATWATER (VE_A) NBT	3287	3400	2702	2256	3709	4008	3238	3454
Cr_2O_3	3893	3904	3045	2493	4192	4704	3620	4131
NBT	3748	3900	2993	2432	4181	4703	3568	4015
LOFGREEN- ATWATER ($VE_{L,A}$) NBT	3384	3435	2771	2286	3726	4102	3272	3628
	3258	3432	2724	2262	3730	4105	3227	3530
Cr_2O_3	3531	3505	2823	2300	3775	4044	3321	3596
NEHRING (VE_N) NBT	3403	3448	2732	2285	3756	4025	3254	3477

Tabelle 7
Verdauungskoeffizienten D (%) der Versuchsdiäten 9 - 12

Diät		9	10	11	12
D _{TS}	Cr ₂ O ₃	81,6	64,0	84,3	87,5
	NBT	81,1	63,3	83,5	88,1
	X-NBT	82,1	63,5	82,2	87,9
D _P	Cr ₂ O ₃	87,1	86,8	85,9	85,8
	NBT	89,6	91,5	86,5	91,3
	X-NBT	92,2	92,8	88,1	89,7
D _F	Cr ₂ O ₃	74,7	36,5	-	-
	NBT	74,5	43,7	-	-
	X-NBT	67,4	42,3	-	-
D _{NFR}	Cr ₂ O ₃	83,7	62,0	-	-
	NBT	79,5	58,6	-	-
	X-NBT	80,9	58,8	-	-
D _{OS}	Cr ₂ O ₃	84,0	65,0	-	-
	NBT	81,5	63,1	-	-
	X-NBT	82,4	63,4	-	-
D _E	Cr ₂ O ₃	80,4	44,8	83,7	87,1
	NBT	80,1	45,6	81,8	86,8
	X-NBT	81,4	45,5	82,1	86,3

Tabelle 8

Verdauliche Energie VE (cal/g) der Versuchsdiäten 9 - 12

Diät:		9	10	11	12
VE experimentell bestimmt im Bombenkalorimeter (VE_K):					
	Cr_2O_3	3880	2553	3630	3647
	NBT	3864	2588	3549	3635
	X-NBT	3927	2584	3561	3613
VE berechnet nach:					
	Cr_2O_3	4158	3010	-	-
ATWATER	NBT	4022	3041	-	-
(VE_A)	X-NBT	4034	3049	-	-
	Cr_2O_3	3682	2785	-	-
WOLL (VE_W)	NBT	3566	2757	-	-
	X-NBT	3603	2767	-	-
	Cr_2O_3	3725	2754	-	-
LOFGREEN- ATWATER	NBT	3632	2795	-	-
($VE_{L,A}$)	X-NBT	3643	2802	-	-
	Cr_2O_3	3669	2793	-	-
NEHRING	NBT	3561	2774	-	-
(VE_N)	X-NBT	3604	2786	-	-

DISKUSSION

Die Bestimmung der Futterverdaulichkeit nach der Nylonbeutel-Technik basiert auf der Voraussetzung, daß eine in einem Futterbehälter abgeschlossene repräsentative Futterstichprobe den gleichen Beeinflussungen im Magen-Darm-Kanal unterliegt wie der Gesamtfutterbrei. Das heißt, daß der Austausch von Verdauungsenzymen und gelösten Futterbestandteilen durch die Wand des Futterbehälters stets ungestört und quantitativ erfolgen kann.

Dieses erstmals von SPALLANZANI (1785) angewandte Verfahren wurde jedoch bisher nur zum Studium der partiellen Verdaulichkeit von Futterstoffen im Pansen des Wiederkäuers eingesetzt (ERWIN und ELLISTON 1959, ARCHIBALD 1961, VAN KEUREN und HEINEMANN 1962, ALGEO u. Mit. 1968, HOPSON u. Mit. 1963 und NEATHERIE 1969). Vor einiger Zeit wurde die NBT von unseren Instituten aufgegriffen mit dem Ziel, die Gesamtverdaulichkeit von Futterrationen am Schwein zu bestimmen. Im Gegensatz zu den Versuchen an Pansenfisteltieren müssen hierbei die mit dem Untersuchungsmaterial gefüllten Beutel den gesamten Verdauungskanal der Versuchstiere passieren. In langwierigen und umfangreichen Versuchen ist es RECH (1973) gelungen, dieses Problem methodisch zu lösen. RECH konnte dann die Brauchbarkeit der NBT zur Bestimmung der Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeit in einem Bereich von etwa 53 - 80% nachweisen, indem er die Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeit eines mit unverdaulicher Cellulose fortschreitend verdünnten Schweinemastfertigfutters (Versuchsdiäten 2 - 4) in Nylonbeuteln übereinstimmend zu den nach der Cr_2O_3 -Methode gefundenen Werten ermitteln konnte. In Fortführung dieser Arbeiten stellte dann RAPP (1972) durch "überkreuzte" Verdaulichkeitsbestimmungen fest (Versuchsdiäten 9 - 12), daß die Trockensubstanz-Verdaulichkeit des in Nylonbeutel abgefüllten Untersuchungsmaterials nicht durch Art und

Zusammensetzung des während der Passage der Beutel durch den Magen-Darm-Kanal an die Versuchstiere gefütterten Haltungsfutters beeinflußt wird.

Die Ergebnisse dieser grundlegenden Versuche von RECH und RAPP gaben einen ersten Hinweis, daß beim Schwein der Verdauungsversuch durch die Anwendung der NBT vereinfacht werden kann. Denn die NBT bietet sich an, die Verdaulichkeit mehrerer Versuchsdiäten - abgepackt in Nylonbeutel - gleichzeitig an einem Versuchstier zu ermitteln. Überdies besteht die Möglichkeit, mit Hilfe der NBT die Verdaulichkeit von Futterinhaltsstoffen sowie von Futtereinzelkomponenten, denen der Charakter eines Alleinfuttermittels fehlt, bestimmen zu können.

Verdaulichkeitsbestimmungen zielen jedoch im allgemeinen darauf ab, Futtermischungen bzw. Futtereinzelkomponenten hinsichtlich ihres Leistungsvermögens beurteilen zu können. Hierzu ist jedoch die Kenntnis der Futtertrockensubstanz-Verdaulichkeit als summarischer Ausdruck der Partialverdaulichkeit der Futterinhaltsstoffe (Protein, Fett, N-freie Restsubstanz und Asche) allein nicht ausreichend. So ist einerseits der Gehalt an verdaulichem Protein in einer Ration von besonderem Interesse, da das körpereigene Eiweiß einem ständigen Ab- und Umbau unterliegt und fortlaufend von außen über die Nahrung ergänzt werden muß. Andererseits ist aber auch die Verwertbarkeit der Futterenergie entscheidend für das Leistungsvermögen einer Ration, da der Organismus zur Aufrechterhaltung seiner Lebensäußerungen auf die ständige Zufuhr von Energie über die Nahrung (im wesentlichen über Fett und N-freie Restsubstanz) angewiesen ist.

Um die Nylonbeutel-Technik hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit für die Futtermittelbewertung zu überprüfen, wurden deshalb parallel zu den von RECH und RAPP durchgeführten Bestimmungen der Trockensubstanz-Verdaulichkeit in der

vorliegenden Arbeit auch die Verdauungskoeffizienten der Nährstoffe und der Futterenergie derselben Versuchsdiäten vergleichend nach dem Cr_2O_3 -Verfahren und der NBT ermittelt.

Die bei diesen Untersuchungen für die einzelnen Versuchsdiäten nach der Cr_2O_3 -Methode und der NBT vergleichend festgestellten Verdauungskoeffizienten D (Cr_2O_3 -D bzw. NBT-D) sind in den Tabellen 5 und 7 angegeben. Wie daraus zu ersehen ist, weichen die korrespondierenden D-Werte mehr oder weniger stark voneinander ab. Da für die vergleichende Beurteilung der über die NBT erhaltenen Verdauungskoeffizienten die absoluten D-Werte weniger interessant sind, werden in Tabelle 9 die Abweichungen Δ D der korrespondierenden Verdaulichkeitswerte in Prozent aufgeführt (Cr_2O_3 -D = 100%).

Es sei an dieser Stelle kurz darauf hingewiesen, daß für die hier angestellten vergleichenden Verdaulichkeitsbestimmungen auch die Verdaulichkeit und die Zusammensetzung der einzelnen Versuchsdiäten sowie ein eventuell von Versuchstier zu Versuchstier unterschiedliches Verdauungsvermögen von untergeordneter Bedeutung sind. Denn beide Verfahren, die Nylonbeutel-Technik und die Cr_2O_3 -Methode, wurden zur gleichen Zeit an derselben Versuchstiergruppe eingesetzt, um durch Übereinstimmung der jeweiligen Verdauungskoeffizienten die Brauchbarkeit der NBT zur Verdaulichkeitsbestimmung nachzuweisen.

Aus Tabelle 9 geht hervor, daß die beste Übereinstimmung zwischen der NBT und der Cr_2O_3 -Methode bei der Bestimmung der Trockensubstanz-Verdaulichkeit erreicht werden konnte. Die bei den untersuchten Diäten festgestellten unterschiedlichen Abweichungen ΔD_{TS} der korrespondierenden Werte bewegen sich zwischen -2,6% bis +1,1%. Auch die nach beiden Verfahren ermittelten Verdauungskoeffizienten der Futterenergie stimmen relativ gut überein ($-\Delta D_E < +2,2\%$), während die Differenzen bei Protein, Fett, N-freier Restsubstanz sowie organischer Substanz weitaus

größer sind (siehe Tabelle 9). Besonders auffallend ist, daß nach der NBT die Verdaulichkeit von Protein durchweg höher ($\Delta D_p > 0$), die Verdaulichkeit von N-freier Restsubstanz sowie von organischer Substanz dagegen durchweg niedriger ($\Delta D_{NFR} < 0$; $\Delta D_{OS} < 0$) bestimmt wurde als nach der Cr_2O_3 -Methode.

Tabelle 9

Abweichungen ΔD (%) der NBT-Verdaulichkeitswerte (NBT-D) zu den Cr_2O_3 -Verdaulichkeitswerten (Cr_2O_3 -D = 100%)

Diät	ΔD_{TS}	ΔD_p	ΔD_F	ΔD_{NFR}	ΔD_{OS}	ΔD_E
1	+ 0,3	+ 3,3	- 2,4	- 8,1	- 4,5	+ 2,2
2	0	+12,0	+ 0,5	- 8,9	- 3,8	- 3,0
3	- 0,3	+15,1	+22,9	-10,9	- 5,3	- 3,8
4	+ 1,1	+16,9	-40,6	- 5,4	- 3,1	- 4,0
5	+ 0,7	+ 4,3	+ 1,5	- 2,9	- 1,1	- 0,2
6	+ 0,7	+ 5,6	+ 1,1	- 3,3	- 1,1	+ 0,3
7	- 0,1	+ 3,5	+ 3,0	- 4,2	- 2,5	- 1,7
8	- 0,9	+ 5,2	+ 0,7	- 5,9	- 3,1	- 1,4
9	- 0,6	+ 2,9	- 0,3	- 5,1	- 2,9	- 0,4
X-9	+ 0,6	+ 5,9	- 9,8	- 3,4	- 1,9	+ 1,2
10	- 1,2	+ 5,4	+19,7	- 5,5	- 2,9	+ 1,9
X-10	- 0,9	+ 7,0	+15,9	- 5,2	- 2,5	+ 1,6
11	- 1,0	+ 0,7	-	-	-	- 2,2
X-11	- 2,6	+ 2,6	-	-	-	- 1,9
12	+ 0,6	+ 6,4	-	-	-	- 0,3
X-12	+ 0,5	+ 4,5	-	-	-	- 0,9

Allgemein wird der Unterschied zwischen Bestandteilen im Futter und korrespondierenden Bestandteilen im Kot als verdaut betrachtet, wobei gewöhnlich angenommen wird, daß das im Kot ausgeschiedene Material lediglich aus un-

verdauten Futterresten besteht. Schon frühzeitig haben die Physiologen aber erkannt, daß diese Auffassung nur begrenzte Gültigkeit hat, da der Körper ständig körpereigene Substanzen in das Darmlumen abgibt. Mit Hilfe der modernen Isotopentechnik (Tracermethode) zeichnet sich erstmals eine Möglichkeit ab, die Vielzahl der vom Körper in das Darmlumen abgegebenen Stoffe und deren Menge erfassen zu können. Bei einem Verdauungsversuch lassen sich jedoch im Kot diese endogenen Ausscheidungen nicht von den unverdauten Futterbestandteilen abtrennen. Deshalb muß die im Tierversuch ermittelte Verdaulichkeit der Nährstoffe als ihre "scheinbare" Verdaulichkeit bezeichnet werden. Diese Differenzierung gegenüber der "wahren" Verdaulichkeit muß insbesondere für das Nahrungsprotein gemacht werden, denn die endogene Stickstoffausscheidung über den Darm ist gegenüber anderen Stoffen mengenmäßig nicht vernachlässigbar. Als Quellen des endogenen Kot-N werden Sekretion in das Darmlumen, abgeschilferte Epithelzellen der Darmmucosa und Darmbakterien betrachtet. Bezogen auf die Trockenmasse können diese Ausscheidungen bis zu 50% des Kotes ausmachen (SCHEUNERT und TRAUTMANN 1957, LEHNARTZ 1959). Die von RUBNER (1902, 1908) als N-Abnutzungsquote bezeichnete endogene Stickstoffausscheidung im Kot beträgt nach Untersuchungen von MITCHELL (1964) beim Schwein, Pferd und Menschen zwischen 0,15 und 0,35 g N pro 100 g aufgenommene Futtertrockenmasse. NEHRING (1961) gibt diesen Wert für das Schwein mit 0,1 - 0,15 g an, während SCHNEIDER (1947) den doppelten Betrag nennt (0,265 g N/100 g Futtertrockenmasse).

In den vorliegenden Untersuchungen wurde für alle Versuchsdiäten die Proteinverdaulichkeit über die NBT weit- aus höher bestimmt als nach der Cr_2O_3 -Methode ($\text{NBT-D}_p > \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-D}_p$). Nach letzterem Verfahren wird aber entsprechend den obigen Ausführungen nur die "scheinbare" Verdaulichkeit des Futterproteins ermittelt. Diese ist verständlicherweise wegen des methodisch nicht abtrennbaren

endogenen Proteinanteils vom Gesamtprotein im Kot stets kleiner als die "wahre" Verdaulichkeit des Futterproteins. Es wurde nun vermutet, daß die vergleichsweise höheren NBT- D_p -Werte möglicherweise der "wahren" Verdaulichkeit des Futterproteins entsprechen. Es erschien deshalb sinnvoll, die über die Cr_2O_3 -Methode ermittelten "scheinbaren" D_p -Werte um den endogenen Kot-N-Verlust zu korrigieren. Hierzu wurde entsprechend den Angaben der oben genannten Autoren ein mittlerer Wert von 0,2 g N/100 g Futtertrokensubstanz angenommen. Da bei der Stickstoffbestimmung nach KJELDAHL alle N-haltigen Verbindungen erfaßt werden und aus diesem Ergebnis durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25 der Rohproteingehalt in Futter- und Kotproben berechnet wird, wurde mit dem gleichen Umrechnungsfaktor (6,25) das endogene "Kot-Rohprotein" aus dem endogenen Kot-N berechnet. An einem fiktiven Beispiel sei diese rechnerische Korrektur demonstriert:

Ein Versuchstier nehme mit 100 g Futtertrokensubstanz 20 g Protein auf, dessen "scheinbare" Verdaulichkeit dann mit 80% festgestellt werde (i.e. 20 g Protein im Futter $\hat{=}$ 4 g Protein im Kot). Der endogene Proteinanteil am gesamten Kotprotein betrage 0,2 g x 6,25 = 1,25 g Protein. Nach Abzug dieses Wertes vom Gesamtprotein im Kot (4 g) berechnet sich die "wahre" Verdaulichkeit des Futterproteins dann mit 86,25%.

Diese Korrektur der "scheinbaren" Verdaulichkeit $D_{s,p}$ des Proteins zur "wahren" Verdaulichkeit $D_{w,p}$ läßt sich vereinfacht nach der folgenden Formel unter Berücksichtigung des Proteingehaltes im Futter P_F (%) durchführen:

$$D_{w,p} = D_{s,p} + \frac{100 \times 1,25}{P_F}$$

In Tabelle 10 sind die rechnerisch erhaltenen Werte der "wahren" Proteinverdaulichkeit (Cr_2O_3 - $D_{w,p}$) den mittels Chromoxid experimentell bestimmten "scheinbaren" Koeffizienten (Cr_2O_3 - $D_{s,p}$) sowie den korrespondierenden Ergebnissen der Nylonbeutel-Technik (NBT- D_p) gegenübergestellt.

Tabelle 10

Gegenüberstellung der Proteinverdaulichkeit (%), siehe Text

Diät	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-D}_{\text{s,P}}$	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-D}_{\text{w,P}}$	NBT-D _P	X-NBT-D _P
1	88,1	92,9	91,0	
2	82,1	88,1	92,0	
3	74,6	81,9	85,9	
4	69,6	78,1	81,4	
5	90,0	95,7	93,8	
6	90,3	96,2	95,3	
7	87,5	94,5	90,6	
8	88,6	95,1	93,2	
9	87,1	94,2	89,6	92,2
10	86,8	95,4	91,5	92,8
11	85,9	91,6	86,5	88,1
12	85,8	92,2	91,3	89,7

Vergleicht man nun die über die NBT erhaltenen Proteinverdaulichkeitswerte (NBT-D_P) mit den korrigierten "wahren" Verdauungskoeffizienten ($\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-D}_{\text{w,P}}$), so stimmen die korrespondierenden Werte recht gut überein. Unter der Voraussetzung, daß der hier vorgenommene Abzug des endogenen Proteinanteils am Gesamtprotein im Kot größtmäßig (1,25 g/100 g aufgenommene Futtertrokensubstanz) zutrifft, deutet diese Übereinstimmung darauf hin, daß in Nylonbeuteln nahezu die "wahre" Verdaulichkeit des Futterproteins ermittelt wurde. Leider liegen zur Zeit keine exakteren Angaben über die endogene N-Ausscheidung beim Schwein vor, um das mit Hilfe der NBT erzielte Ergebnis hinsichtlich der Proteinverdaulichkeit befriedigend beweisen zu können. Das Resultat der folgenden, orientierungshalber durchgeführten Untersuchung zeigt aber, daß auch die in Nylonbeuteln erzielte Verdaulichkeit nicht ganz die "wahre" Proteinverdaulichkeit erreicht.

Mit Unterstützung des Institutes für Mikrobiologie und Bakteriologie an unserer Fakultät wurden einige korrespondierende Proben von Futter, Faeces und "Beutelkot" auf den Gehalt an mikrobiellen Keimen untersucht¹⁾. Dabei wurden in den Futterproben die normalerweise im Futter stets vorkommenden Keime wie Flavomyceten, Hefen, Streptokokken und Mikrokokken ($20\,000\text{ Keime/cm}^3$) festgestellt. An ihre Stelle waren dann in den Faecesproben und überraschenderweise auch in den "Beutelkot"-Proben die faecalen Keime getreten, wobei das Verhältnis von Enterobakterien (Coli, Aerobacter, Proteus) zu Enterokokken (Streptokokkus faecalis, Streptokokkus uberis) in beiden Proben etwa 1:1 betrug. Der Keimgehalt in den Faeces (10^6 Keime/cm^3) war jedoch etwa viermal so hoch wie im "Beutelkot".

Durch dieses Ergebnis wurde einerseits nachgewiesen, daß die für die Verdauung essentiellen Darmbakterien vom Darmlumen in den Futterbeutel eindringen können (Enterobacteriaceae $1-4\text{ }\mu \times 0,7\text{ }\mu$; Enterokokken $\varnothing 0,7 - 0,9\text{ }\mu$; Maschenweite des zur Herstellung der Futterbeutel verwendeten Nylongewebes $5\text{ }\mu$). Andererseits können jedoch wegen des Vorhandenseins von faecalen Bakterien im Futterbeutel die über die NBT gefundenen D_p -Werte nicht identisch mit der "wahren" Verdaulichkeit des Futterproteins sein. Auf Grund der vergleichsweise zu den Faeces geringeren Besiedlung des Untersuchungsmaterials im Nylonbeutel mit Darmbakterien aber ist im "Beutelkot" der Anteil des Bakterieneiweisses am Gesamtprotein wesentlich kleiner als in den Faeces. Außerdem ist es nur vorstellbar, daß die Beutelhülle von noch lebenden Bakterien aktiv durchwandert werden kann, während abgestorbene Bakterien und ebenso abgeschilferte Darmepithelien die Beutelwand nicht passieren. Hierauf dürfte die in den Nylonbeuteln festgestellte höhere Proteinverdaulichkeit im wesentlichen zurückzuführen sein.

1) Herrn Akadem. Oberrat Dr. H. Schels sei an dieser Stelle für seine bereitwillige Unterstützung herzlich gedankt.

Für den hier angestellten Vergleich der nach dem Cr_2O_3 -Verfahren und der NBT erhaltenen Verdauungskoeffizienten müßten konsequenterweise auch die bei der Cr_2O_3 -Methode ermittelten Verdaulichkeitswerte von Trockensubstanz, Fett, N-freier Restsubstanz, organischer Substanz sowie der Futterenergie um den endogenen Proteinanteil im Kot korrigiert werden. Dieser müßte einerseits bei der Bestimmung des Gehaltes an Trockensubstanz, N-freier Restsubstanz und organischer Substanz in den Faeces durch Abzug berücksichtigt werden, andererseits müßten diese Parameter sowie Fett und die Kotenergie auf die um den endogenen Proteingehalt bereinigte Kottrockensubstanz bezogen werden. Es erschien jedoch nicht besonders sinnvoll, diese Berechnungen im einzelnen an dieser Stelle anzuführen, da - wie bereits angeführt - über die Mengen der in den Darm ausgeschiedenen stickstoffhaltigen Substanzen derzeit noch keine genauen Angaben vorliegen, so daß sie hier nur abgeschätzt werden konnten (siehe Seite 44). Zum anderen wäre es auch notwendig, in weiteren Untersuchungen aufgrund der beobachteten unterschiedlichen bakteriellen Besiedlung von Faeces und "Beutelkot" den Anteil des Bakterieneiweißes am Gesamteiweiß in den Faeces bzw. im "Beutelkot" festzustellen. Es hatte sich jedoch bei diesbezüglichen Korrekturberechnungen gezeigt, daß die in Tabelle 9 aufgezeigten Abweichungen zwischen den nach beiden Verfahren bestimmten Verdaulichkeitswerten sich nicht wesentlich verschieben.

Wie aus Tabelle 9 zu ersehen ist, wurden im Gegensatz zum Protein die Verdauungskoeffizienten der N-freien Restsubstanz und der organischen Substanz in Nylonbeuteln durchweg niedriger bestimmt als beim Cr_2O_3 -Verfahren. Die aufgezeigten Diskrepanzen dieser korrespondierenden D-Werte lassen sich jedoch nicht allein auf einen unterschiedlichen endogenen Proteinanteil am Gesamtprotein in den Faeces und im "Beutelkot" zurückführen. Denn bei allen Ver-

suchsdiäten wurde in den Faeces gegenüber dem "Beutelnkot" ein höherer Aschegehalt festgestellt, durchschnittlich im Verhältnis 3:1. Da nun bei der Berechnung des Gehaltes an N-freier Restsubstanz und an organischer Substanz der Aschegehalt miteinbezogen wird, müssen sich hierdurch zwangsläufig auch höhere Gehalte an N-freier Restsubstanz bzw. organischer Substanz im "Beutelnkot" ergeben. Es ist deshalb verständlich, daß sich für die N-freie Restsubstanz bzw. organische Substanz bei der NBT niedrigere Verdauungskoeffizienten errechneten als bei der Cr_2O_3 -Methode.

Die recht unterschiedlichen Aschegehalte korrespondierender Proben von Faeces und "Beutelnkot" können nur dadurch erklärt werden, daß auch endogen in das Darmlumen abgegebene anorganische Verbindungen (wie z.B. Calcium, Phosphor) nicht quantitativ in die Futterbeutel eindiffundieren. Demnach würde aber auch in diesem Falle die in den Nylonbeuteln bestimmte Verdaulichkeit der organischen Substanz sich deren "wahren" Verdaulichkeit annähern.

Die Werte der verdaulichen Energie VE (cal/g) sind für die untersuchten Diäten in den Tabellen 6 und 8 wiedergegeben. Um die nach der NBT und dem Cr_2O_3 -Verfahren erhaltenen Werte (NBT-VE bzw. Cr_2O_3 -VE) besser vergleichen zu können, werden analog zur Tabelle 9 auch die Abweichungen ΔVE der korrespondierenden VE-Werte in Tabelle 11 in Prozent angegeben (Cr_2O_3 -VE = 100 %).

Die angeführten ΔVE_K der über die im Bombenkalorimeter bestimmten Verbrennungswärmen korrespondierender Futter- und Kotproben ermittelten VE_K -Werte zeigen, daß bei der NBT die verdauliche Energie mit wenigen Ausnahmen geringfügig niedriger festgestellt wurde als beim Cr_2O_3 -Verfahren ($-2,3\% < \Delta \text{VE}_K < +2,2\%$). Die Diskrepanz zwischen den korrespondierenden VE-Werten ist für die einzelnen Diäten weitaus größer, wenn die verdauliche Energie über die im

Tabelle 11

Abweichungen ΔVE (%) der verdaulichen Energie, bestimmt nach der Nylonbeutel-Technik (NBT-VE) und dem Cr_2O_3 -Verfahren (Cr_2O_3 -VE = 100 %)

Diät	ΔVE_K	ΔVE_A	ΔVE_W	ΔVE_{L-A}	ΔVE_N
1	+2,2	-3,7	-4,4	-3,7	-3,6
2	-1,8	-0,1	-2,4	-0,1	-1,6
3	-1,7	-1,7	-3,5	-1,7	-3,3
4	-1,9	-2,4	-1,7	-1,0	-0,7
5	+0,1	-0,2	-0,7	+0,1	-0,5
6	-0,2	0	-0,7	+0,1	-0,5
7	-1,7	-1,4	-2,0	-1,4	-2,0
8	-1,3	-2,8	-3,7	-2,7	-4,1
9	-0,4	-3,3	-3,2	-2,5	-2,9
X-9	+1,2	-3,0	-2,1	-2,2	-1,8
10	+1,4	+1,0	-1,0	+1,5	-0,7
X-10	+1,2	+1,3	-0,6	+1,7	-0,2
11	-0,3	-	-	-	-
X-11	-0,9	-	-	-	-
12	-2,3	-	-	-	-
X-12	-1,9	-	-	-	-

Cr_2O_3 -Verfahren bzw. mit der NBT bestimmten verdaulichen Nährstoffe entsprechend den von ATWATER (VE_A), WOLL (VE_W), LOFGREEN-ATWATER ($VE_{L,A}$) und NEHRING (VE_N) angegebenen Formeln (Seite 30/31) berechnet wurde. In der Mehrzahl liegen aber auch die so berechneten VE-Werte bei der NBT unter den nach dem Cr_2O_3 -Verfahren ermittelten Daten. Die Abweichungen zwischen den Cr_2O_3 -VE- und NBT-VE-Werten ergeben sich aus dem Umstand, daß die verdaulichen Nährstoffe nach der NBT und dem Cr_2O_3 -Verfahren nicht in absoluter Übereinstimmung bestimmt werden konnten.

Die von den genannten Autoren angegebenen Formeln zielen darauf ab, das energetische Leistungsvermögen von Futtermischungen auf der Basis der VE voraussagen zu können. Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Formeln ist die Kenntnis der Zusammensetzung einer Futtermischung aus Futtereinzelkomponenten und deren Gehalt an verdaulichen Nährstoffen. Für zahlreiche Futtereinzelkomponenten wurde der Gehalt an verdaulichen Nährstoffen in Verdauungsversuchen bestimmt und in Tabellen (z.B. Futterwerttabellen der DLG) festgehalten. Bei diesen tabellarisierten Werten handelt es sich aber immer nur um Durchschnittswerte, da der Gehalt eines Futtermittels an verdaulichen Nährstoffen mehr oder weniger stark von der Güte des Ausgangsmaterials (Einfluß von Boden und Witterung), seiner Gewinnung und Lagerung abhängt. Aus diesem Grund kann der mit Hilfe der angegebenen Formeln anhand von tabellarisierten Durchschnittswerten berechnete VE-Gehalt einer Futtermischung durchaus von dem tatsächlich vorliegenden Energiegehalt der Ration abweichen.

Häufig sind jedoch Zusammensetzung einer Ration aus Einzelkomponenten oder deren Gehalt an verdaulichen Nährstoffen nicht bekannt. In diesem Fall kann die VE mit Hilfe einer der angegebenen Formeln nicht berechnet werden, und es bleibt die Durchführung eines Ausnutzungsversuches am Versuchstier zur Feststellung der Nährstoffverdaulichkeit unumgänglich. Bekanntlich sind jedoch bei der Rohnährstoff-Analytik die Bestimmungsverfahren für die einzelnen Nährstoffe mit recht unterschiedlichen methodischen Unsicherheiten behaftet. Diese analytischen Einzelfehler addieren sich jedoch bei der entsprechend obiger Formeln durchgeführten Berechnung der VE aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen. Wird dagegen die VE über die Differenz der im Bombenkalorimeter bestimmten Verbrennungswärmen korrespondierender Futter- und Kotproben ermittelt, so wird das Resultat (VE) nur durch einen einzigen, nämlich den Versuchsfehler bei der Be-

stimmung der Verbrennungswärme im Bombenkalorimeter beeinflusst. Aufgrund der hohen Analysengenauigkeit eines Kalorimeters ist dieser Fehler zumeist sehr klein. Er betrug z.B. bei den hier durchgeführten Versuchen nur etwa $\pm 1\%$ (Tabelle 3 und 4).

Diesen Ausführungen zufolge erklären sich auch die Abweichungen der aus den verdaulichen Nährstoffen über die einzelnen Formeln berechneten VE-Werte zu den über die Verbrennungswärme experimentell bestimmten Daten bei den einzelnen Versuchsdiäten, sowohl bei der NBT als auch beim Indikatorverfahren (Tabelle 6 und 8). Die Diskrepanzen der für die gleiche Ration berechneten VE-Werte resultieren aus den in den Berechnungsformeln unterschiedlichen numerischen Faktoren (siehe Seite 31). In weitaus geringerem Maße differieren demgegenüber die mit Hilfe des Kalorimeters bestimmten VE-Werte der NBT zu denen der Cr_2O_3 -Methode.

In Deutschland konnte sich eine Bewertung von Schweine-rationen auf energetischer Basis noch nicht durchsetzen. Sie erfolgt in der Praxis nach wie vor auf der von LEHMANN entwickelten Grundlage der Gesamtnährstoffe GN (= Summe der verdaulichen Nährstoffe). Wie Tabelle 12 zeigt, ergab sich für alle hier untersuchten Versuchsdiäten bei der NBT ein etwas niedrigerer Gehalt an Gesamtnährstoffen als beim Indikatorverfahren. Dieser Unterschied ist erklärlich, denn - wie bereits ausgeführt - wurden die Verdauungskoeffizienten der Nährstoffe mit Ausnahme des Proteins in Nylonbeuteln niedriger bestimmt als bei der Cr_2O_3 -Methode.

Wie schon im methodischen Abschnitt erwähnt, gestaltet sich bei der NBT die analytische Bestimmung des Nährstoffgehaltes in dem nach der Tierkörperpassage unverdaut gebliebenen Beutelinhalt aufgrund des in nur sehr

geringen Mengen anfallenden Untersuchungsmaterials sehr schwierig. (Deshalb konnten z.B. für die Versuchsdiäten 11 und 12 die Bestimmungen des Nährstoffgehaltes in "Beutelkot" nicht durchgeführt werden.) Die bei der NBT nach dem Verdauungsversuch zur Verfügung stehende Menge an "Beutelkot" würde dagegen stets für eine zuverlässige Bestimmung der Verbrennungswärme des "Beutelkotes" im Bombenkalorimeter ausreichen.

Um nun der in der Schweinehaltung noch praktizierten Futtermittelbewertung nach GN entgegenzukommen, wurde für die Untersuchungsdiäten in Anlehnung an WOLL und HUMPHREY (1910) das kalorische Äquivalent VE/GN (cal/g GN) berechnet. Dabei konnte der von diesen Autoren angegebene Wert von 4,4 cal/g TDN (= GN) bestätigt werden (Tabelle 12). Der für die NBT gefundene etwas größere Durchschnittswert von 4,44 cal/g GN unterschied sich statistisch nicht von dem für die Cr_2O_3 -Methode erhaltenen Ergebnis von 4,36 cal/g GN ($P > 0,05$). Aufgrund dieser recht guten Übereinstimmung erscheint es deshalb durchaus möglich, mit Hilfe der NBT den Gehalt eines Schweine-Mischfutters an Gesamtnährstoffen über die Bestimmung der verdaulichen Energie im Bombenkalorimeter zu ermitteln.

Tabelle 12

Gesamtnährstoffe GN (g/kg Futter), Abweichungen Δ GN (%) der NBT-GN zu den Cr_2O_3 -GN (= 100%) sowie das kalorische Äquivalent VE/GN (cal/g GN)

Diät	GN		GN	VE/GN	
	Cr_2O_3	NBT		Cr_2O_3	NBT
1	785	747	- 4,9	3,65	3,92
2	791	773	- 2,4	4,33	4,35
3	640	614	- 4,0	4,34	4,44
4	522	513	- 1,8	4,39	4,38
5	849	843	- 0,7	4,63	4,67
6	917	911	- 0,7	4,37	4,39
7	751	734	- 2,0	4,59	4,62
8	815	785	- 3,7	4,61	4,72
9	837	810	- 3,2	4,64	4,77
X-9		819	- 2,1		4,79
10	633	627	- 1,0	4,03	4,13
X-10		629	- 0,7		4,11
		Mittelwert:		4,36	4,44
		Streuung:		$\pm 0,31$	$\pm 0,28$

Bei den "überkreuzten" Untersuchungen der Trockensubstanz-Verdaulichkeit der Diäten 9-12 wurde eine Beeinflussung der in Nylonbeuteln ermittelten Verdaulichkeit der Futtertrockensubstanz durch Art und Zusammensetzung der während der "Beutelpassage" an die Versuchstiere gefütterten Haltungsdiät nicht beobachtet (RAPP 1972). In der vorliegenden Arbeit konnte eine solche Beeinflussung auch für die Verdauungskoeffizienten der Nährstoffe und der Futterenergie nicht nachgewiesen werden. Die jeweiligen Abweichungen der X-NBT-D-Werte gegenüber den Cr_2O_3 -D-Werten bewegten sich bei den untersuchten Diäten 9-12 in der gleichen Größenordnung wie die der NBT-D-Werte (Tabelle 9 und 11). Es ist also deshalb durchaus vorstellbar, daß entsprechend der Zielsetzung dieser Untersuchungen die Verdaulichkeit von mehreren Futterrationen in Nylonbeuteln gleichzeitig an einem Versuchsschwein ermittelt werden kann, wobei das Versuchstier während der "Beutelpassage" mit einem weitgehend beliebig zusammengesetzten Haltungsfutter gefüttert wird. Dieser Frage wird in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden.

Trotz der in der vorliegenden Arbeit festgestellten Abweichungen zwischen den nach der NBT und dem Cr_2O_3 -Verfahren ermittelten Verdauungskoeffizienten eröffnen sich mit der NBT neue Perspektiven bei der Verdaulichkeitsbestimmung von Nährstoffen sowie der Futterenergie von Futterrationen für Schweine. Es ist zu hoffen, daß in weiteren Untersuchungen die hier festgestellten Differenzen der korrespondierenden D-Werte durch methodische Verbesserung der Nylonbeutel-Technik im positiven Sinne beeinflußt werden können.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe der in unseren Instituten zur vereinfachten Verdaulichkeitsbestimmung am Schwein modifizierten Nylonbeutel-Technik (NBT) wurden an jeweils drei bzw. vier kastrierten Ebern (30 - 70 kg) von zwölf unterschiedlich zusammengesetzten Mischfutterrationen die Verdaulichkeit der Nährstoffe sowie der Futterenergie ermittelt. Zur Überprüfung der in Nylonbeuteln gefundenen Verdauungskoeffizienten wurden diese jeweils an derselben Versuchstiergruppe auch nach der Cr_2O_3 -Indikatormethode bestimmt.

In der ersten Versuchsreihe war das jeweils in die Nylonbeutel abgefüllte Untersuchungsmaterial identisch mit dem während der Passage der Beutel durch den Tierkörper an die Versuchsschweine gefütterten Haltungsfutter. In einer weiteren Versuchsreihe wurden dann in zwei Verdauungsversuchen jeweils zwei unterschiedliche Diäten in Nylonbeuteln gleichzeitig an Schweinen untersucht, denen bei der "Beutelpassage" zuerst die eine und in der sich anschließenden Fütterungsperiode die andere dieser Diäten als Haltungsfutter angeboten wurde. Bei diesen "Überkreuzversuchen" konnte eine Beeinflussung der Verdaulichkeit des Beutelinhaltes durch Art und Zusammensetzung des Haltungsfutters nicht nachgewiesen werden.

Bei allen zwölf untersuchten Diäten wurde die Verdaulichkeit des Futterproteins mit Hilfe der NBT höher festgestellt als über die Cr_2O_3 -Methode. Wenn die mittels Chromoxid erzielten Protein-Verdauungskoeffizienten um den endogenen Kot-N korrigiert wurden, stimmten sie mit den bei der NBT gefundenen Daten relativ gut überein. Es konnte aber einerseits für diese Korrektur nur ein geschätzter Wert von 0,2 g N/100 g aufgenommene Futter-trockensubstanz eingesetzt werden, denn in der Literatur

werden bezüglich der Menge des endogen ausgeschiedenen Kot-N für das Schwein recht unterschiedliche Angaben gemacht. Andererseits zeigte eine bakteriologische Untersuchung, daß auch der "Beutelkot" durch Darmbakterien besiedelt war. Aus dem Ergebnis der vergleichenden Bestimmung der Proteinverdaulichkeit kann deshalb nur abgeleitet werden, daß die in Nylonbeuteln bestimmten Werte nur angenähert die "wahre" Verdaulichkeit des Futterproteins anzeigt.

Im Gegensatz zum Protein wurde die Verdaulichkeit der N-freien Restsubstanz sowie der organischen Substanz mit der NBT durchweg niedriger bestimmt als bei der Cr_2O_3 -Methode. Die Diskrepanz dieser Verdauungskoeffizienten erklärt sich im wesentlichen dadurch, daß in den Faecesproben stets ein etwa dreimal so hoher Aschegehalt gefunden wurde als in den korrespondierenden Proben des "Beutelkotes".

Die relativ schlechte Übereinstimmung der nach NBT und Cr_2O_3 -Methode simultan bestimmten Fettverdaulichkeit scheint durch die wenig zuverlässige Bestimmung des Fettgehaltes im Mikroverfahren begründet zu sein.

Trotz der festgestellten Diskrepanzen der in Nylonbeuteln und nach der Indikatormethode ermittelten Nährstoffverdaulichkeit konnten nach beiden Verfahren in befriedigender Übereinstimmung der Gehalt an verdaulicher Energie (VE) sowie an Gesamtnährstoffen (GN) in den Versuchsdiäten gefunden werden.

Im Hinblick auf die praktische Anwendung der NBT für Untersuchungen des energetischen Leistungsvermögens von Mischfütterationen für Schweine wurde in Anlehnung an WOLL und HUMPHREY (1910) das kalorische Äquivalent VE:GN berechnet, denn Schweinerationen werden in Deutschland in der Praxis noch nicht auf der Basis der VE, sondern nach ihrem Gehalt an GN beurteilt. Die Bestimmung der GN

durch vergleichende Rohrnährstoffanalyse gestaltet sich jedoch bei der NBT wegen in nur geringen Mengen nach der "Beutelpassage" zur Verfügung stehenden "Beutelkotes" weitaus schwieriger als die Ermittlung der VE durch kalorimetrische Verbrennung der korrespondierenden Proben von Futter und "Beutelkot". Für die untersuchten Versuchsdäten ergab sich das kalorische Äquivalent VE:GN übereinstimmend bei der Cr_2O_3 -Methode und der NBT mit durchschnittlich 4,4 cal VE/1 g GN, dem gleichen auch von WOLL und HUMPHREY angegebenen Wert.

Somit ließe sich die mit Hilfe der NBT zuverlässig bestimmbare VE von Mischfutterrationen anhand dieser quantitativen Beziehung auch in GN angeben.

SUMMARY

The nylon bag technique (NBT) which had been modified at our Institutes to allow a more simplified method for determining the digestibility of pig rations, was used to measure the digestibility of nutrients and food energy. For this purpose 12 different rations were each tested on three or four castrated pigs (30 - 70 kg). The coefficient of digestibility found by the NBT was, as a control, also determined on the same animals by the Cr_2O_3 -method.

In the first experimental series the contents of the bags were identical with the maintenance ration fed during passage of the bags. In the second test series two different rations were used. Both passed through the digestive tract simultaneously in different bags, whereby the maintenance ration was at first the one of the two experimental rations and subsequently, with a renewed passage of the bags, the other experimental ration. With these "cross-tests" it was shown that the composition of the maintenance diets had no effect on the digestibility of the bag contents.

With all 12 diets the digestibility of proteins was found to be higher with the NBT than with the Cr_2O_3 -method. When the results obtained with the Cr_2O_3 -method were corrected for endogenous fecal nitrogen, they correlated relatively closely with the results obtained by the bag method. For this correction, however, only an estimated value of 0,2 g N/100 g dry ration was used, as the values given in the literature for pigs vary greatly. On the other hand, the "bag feces" also contained intestinal flora as shown by bacteriological examinations. In comparing the results obtained by the two methods of determining protein digestibility, the values found with the NBT can be

considered only approximately as "true" digestibility of food protein.

In contrast to protein, the digestibility of the N-free matter and the organic matter were lower with the NBT than with the Cr_2O_3 -method. This discrepancy was caused mainly by the ash content, which was approximately three times as high in the feces than in the "bag feces".

The relatively poor correlation between the NBT and the Cr_2O_3 -method regarding the digestibility of fat, appears to be due to the comparatively unreliable micro-method for fat assays.

Even though there were differences between the digestibility of nutrients found by the NBT and the Cr_2O_3 -method, there was good agreement between the two methods in regard to Digestible Energy (DE) and Total Digestible Nutrients (TDN).

In view of the practical application of the NBT for determining the energy value of pig rations, the caloric equivalent DE:TDN was calculated according to WOLL and HUMPHREY (1910), as in Germany pig rations are not yet calculated on DE, but still on their TDN.

However, the determination of the TDN by analysis of crude nutrients is much more difficult with the NBT, which supplies only small amounts of "bag feces", than the determination of the DE by calorimetric measurements of corresponding samples of food and "bag feces". For the tested experimental diets the mean caloric equivalent DE:TDN was with both methods 4,4 cal DE/g TDN. This is the same value as stated by WOLL and HUMPHREY.

These quantitative relations together with the possibility of determining the DE of pig rations reliably with the NBT make it therefore possible to express the DE also in TDN.

ANHANG

ZUSAMMENSETZUNG DER VERSUCHSDIÄTEN

VERSUCHSDIÄT 1

Schweinemastalleinfutter I für Anfangsmast (Mischfutter)
nach DLG-Standard, Feldmochinger Kraftfutterwerk Dr.Zentz
und Co., Nachf.

Zusammensetzung in % (Herstellerangabe)

Weizen	25,0
Mais	15,0
Gerste	10,0
Sojaschrot, extr.	10,0
Tapiokamehl	10,0
Fischmehl	7,0
Weizenbollmehl	4,65
Maiskleberfutter	4,0
Roggenfuttermehl	3,0
Weizenkleie	3,0
Luzernegrasgrünmehl	2,0
Melasse	2,0
Tiermehl	1,5
Min.Misch.	1,5
Futterfett	1,0
Vit.Misch. ¹⁾	0,3
Antibiotica-Vormisch., Chlortetracyclin (20 mg/kg Mischfutter)	0,05

Analytisch ermittelter Rohnährstoffgehalt in % (bzg. auf TS)

Rohprotein	25,9
Rohfett	2,5
Rohasche	9,1
N-freie Restsubstanz	62,5

1) Vitamingehalt/kg Mischfutter (Herstellerangabe) s.S. 61

Vitamingehalt/kg Mischfutter (Herstellerangabe)

Vitamin A	10 000 IE
Vitamin D ₃	2 000 IE
Vitamin E	10,0 mg
Vitamin B ₁	1,0 mg
Vitamin B ₂	2,4 mg
Vitamin B ₆	0,5 mg
Vitamin B ₁₂	10,0 mcg
Ca-Pantothenat	4,0 mg
Nicotinsäure	6,0 mg
Cholinchlorid	25,0 mg

VERSUCHSDIÄT 2

Schweinemastfertigfutter I¹⁾ für Anfangsmast (Mischfutter), unverdünnt, Feldmochinger Kraftfutterwerk Dr.Zentz und Co., Nachf.

VERSUCHSDIÄT 3

Versuchsdiaät 2 verdünnt mit 17,84% Cellulose²⁾ (bzg. auf TS)

VERSUCHSDIÄT 4

Versuchsdiaät 2 verdünnt mit 30,72% Cellulose²⁾ (bzg. auf TS)

1) Zusammenstellung des Schweinemastfertigfutters in %
(Herstellerangabe)

Mais geschr.	20,0
Weizen geschr.	18,0
Gerste geschr.	10,0
Sojaschrot extr.	7,25
Eiweißkonzentrat ³⁾	15,0
Futterzucker	7,0
Weizenbollmehl mit 0,5% Vitaminvormischung ⁴⁾	7,0
Maiskleberfutter	6,0
Tapiokamehl	5,5
Melasse	2,0
Mineralstoffmischung II a für Schweine	2,0
Aurofac 2A (= 20 mg Aureomycin/kg Endmischung)	0,25

2) Pulverförmige Cellulose (Buchenholz-Cellulose); Type 402-2b; Gehalt an Alpha-Cellulose 89-90%; Durchschnittspolymerisationsgrad nach JAYME-WELLM 620-680; MIKRO-Technik GmbH, Miltenberg/Main.

3) Eiweißkonzentrat:

Fischmehl	40,0 %
Sojaschrot extr.	39,7 %
Tiermehl	10,0 %
Luzerne/Grasgrünmehl	5,0 %
Fischpreßsaft	5,0 %
Vitamin B-Konzentrat ⁴⁾	0,3 %

4) Vitamingehalt/kg Mischfutter (Herstellerangabe):

Vitamin A	10 000 IE
Vitamin D ₃	2 000 IE
Vitamin E	10,0 mg
Vitamin B ₁	1,0 mg
Vitamin B ₂	2,4 mg
Vitamin B ₆	0,5 mg
Vitamin B ₁₂	10,0 mcg
Ca-Pantothenat	4,0 mg
Nicotinsäure	6,0 mg
Cholinchlorid	25,0 mg

Analytisch ermittelter Rohnährstoffgehalt der Versuchsdiäten 2, 3 und 4 in % (bzg. auf TS)

Diät	2	3	4
Rohprotein	21,0	17,2	14,6
Rohfett	3,5	2,5	2,1
Rohasche	7,2	5,9	5,3
N-freie Restsubstanz	68,3	74,4	78,0

VERSUCHSDIÄT	5	6	7	8
<u>Zusammensetzung in % (eigene Mischung)</u>				
Mais geschr.	20,0	15,0	63,6	58,6
Soja geschr.	6,8	7,8	23,5	24,5
Hafer geschr.	5,0	5,0	5,5	5,5
HaferSchale	4,2	4,2	4,0	4,0
Sojaöl	-	4,0	-	4,0
Weizen geschr.	10,0	10,0	-	-
Gerste geschr.	42,4	42,4	-	-
Fischmehl	10,0	10,0	-	-
CaHPO ₄	0,3	0,3	1,6	1,6
CaCO ₃	0,6	0,6	1,0	1,0
NaCl	0,5	0,5	0,5	0,5
Vitaminvormischung ¹⁾	0,5	0,5	0,5	0,5

Analytisch ermittelter Rohrnährstoffgehalt in %
(bzg. auf TS)

Rohprotein	21,8	21,2	17,8	19,3
Rohfett	3,2	5,2	2,5	4,7
Rohasche	7,1	6,3	6,5	6,3
N-freie Restsubstanz	67,9	67,3	73,2	69,7

1) 1 kg der Versuchsdiät enthält:

Vitamine:		Spurenelemente	
Vitamin A	5 000 IE	(als Sulfate):	
Vitamin D ₃	500 IE	Mn	32,5 mg
Vitamin E	10 mg	Fe	40,2 mg
Vitamin B ₂	2 mg	Zn	45,5 mg
Vitamin B ₁₂	10 mcg	Cu	12,7 mg
Ca-Pantothenat	5 mg		
Nicotinsäure	10 mg		
Cholinchlorid	100 mg		

VERSUCHSDIAT 9 10 11 12

Zusammensetzung in % (eigene Mischung)

Mais geschr.	35,0	28,0	74,6	20,0
Weizen geschr.	25,0	20,0	-	20,0
Gerste geschr.	-	-	-	42,4
Hafer geschr.	20,0	16,0	-	-
Sojaschrot (44% RP)	13,0	10,3	22,0	6,0
Fischmehl (65% RP)	4,0	3,2	-	10,0
Süßmolke	0,2	0,16	-	-
CaHPO ₄	1,0	0,8	1,6	0,3
CaCO ₃	1,0	0,8	1,0	0,6
NaCl jod.	0,3	0,24	0,3	0,2
Vitaminvormischung ¹⁾	0,5	0,5	0,5	0,5
Polyäthylen ²⁾	-	20,0	-	-

Analytisch ermittelter Rohnährstoffgehalt in %
(bzg. auf TS)

Rohprotein	17,7	14,5	19,5	22,1
Rohfett	4,3	3,0		
Rohasche	5,1	4,7		
N-freie Restsubstanz	73,0	77,8		

1) 1 kg Mischfutter enthält:

Vitamine:		Spurenelemente	
Vitamin A	5 000 IE	(als Sulfate):	
Vitamin D ₃	500 IE	Mn	32,5 mg
Vitamin E	10 mg	Zn	45,5 mg
Vitamin B ₂	2 mg	Fe	40,2 mg
Vitamin B ₁₂	10 mcg	Cu	12,7 mg
Ca-Pantothenat	5 mg		
Nicotinsäure	10 mg	Aureomycin	24,0 mg
Cholinchlorid	100 mg		

Vitamine, Spurenelemente und Aureomycin wurden an Sojafleinmehl gebunden als Vitaminvormischung in die Versuchsdriäten eingemischt.

- 2) Polyäthylen in Pulverform LUPOLEN^R; Type KR 1258;
Badische Anilin und Soda Fabrik, Ludwigshafen/Rh.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Abrams, J.T.:
Linton's Animal Nutrition and Veterinary Dietetics
W. Green & Sons Ltd, Edinburgh (1950)
2. Algeo, J.W., Brannum, T.P., Hibbits, A.G.:
An evaluation of the syrf high pressure grain-
exploding process on milo: Digestibility (nylon
bag), VFA (in vitro), steer fattening performance
and carcass characteristics
J. Anim. Sci. 27 (1968), 1159
3. Archibald, J.G.:
Measurement of the nutritiv value of alfalfa and
timothy hay by varied techniques
J. Dairy Sci. 44 (1961), 2232
4. Armsby, H.P.:
The nutrition of the farm animal
The Macmillan Co., New York (1917)
5. Atwater, W.O., Bryant, A.P.:
Availibility and fuel value of food materials
12th Annual Report of Staw's Agr. Expt. Sta. 73
(1900)
6. Axelsson, J.:
Der Gehalt des Futters an umsetzbarer Energie
Züchtungskunde 16 (1941), 335
7. Axelsson, J.:
Den lämpligaste vaxtträdhalten i göd svinens
foder-starter
Lantsmannen 32 (1948), 217

8. Axelsson, J., Erikson, J.:
The availability of the method of determination by
difference of the effect of individual feeds
Kgl. Lantbrukshögsk, Ann. 17 (1950)
9. Axelsson, J.:
Relationship between contents of metabolizable
energy, total digestible nutrients, Scandinavian
feed units, and starch units in the feedstuffs
Kgl. Lantbrukshögsk, Ann. 19 (1952), 145
10. Axelsson, J.:
Die Modernisierung der Futtermittelbewertung
Festschrift 100 Jahre Möckern, Dt. Akademie der
Landwirtschaftl. Wissenschaften, Berlin Bd. II
(1954), 86
11. Blaxter, K.L.:
Energy feeding standards for dairy cattle
Nutrition Abst. and Rev. 20 (1950)
12. Blaxter, K.L.:
Progress in assessing the energy value of feeding
stuffs for ruminants
J. Roy. agr. 123 (1962)
13. Blaxter, K.L., Kielanowski, J., Thorbeck, G.:
Energy metabolism of farm animals
Oriel Press LTD, Newcastle upon Tyne (1969)
14. Breirem, K.:
Der Energieumsatz bei Schweinen
Archiv für Tierernährung, Bd. 11 (1939), 487
15. Breirem, K.:
Nettoenergie als Grundlage der Bewertung der
Futtermittel

Festschrift 100 Jahre Möckern, Dt. Akademie der
Landwirtschaftl. Wissenschaften, Berlin Bd. II
(1954), 91

16. Crampton, E.W., Whiting, F.:

A proposed scheme of feeding stuffs analysis
J. Anim. Sci. V 2, 4 (1942), 278

17. Crampton, E.W.:

The apparent digestibility of essentially similar
diets by rats, guinea pigs, sheep, swine, and by
human subjects
J. Nutr. 43 (1951), 541

18. Crampton, E.W., Rutherford, B.E.:

Apparent digestibility of dietary protein as a
function of protein level
J. Nutr. V 54 (1954), 445

19. Crampton, E.W.:

Applied animal nutrition
Freemans & Co., San Francisco (1956)

20. Crampton, E.W., Lloyd, L.E., Muckey, V.G.:

The calorie value of TDN
J. Anim. Sci. 16 (1957), 541

21. Edin, H.:

Orienterande försök över en på ledkroppsprincipen
grundat metod att bestämma en foderblandings
smälthet
Meddelanden från centralanstalten för försör-
sökningsväsendet på jordbruksområdet 165 (1918), 309
(1926), 365 (1929), 380 (1930)

22. Erwin, E.S., Elliston, N.G.:
Rapid method of determining digestibility of
concentrates and roughages in cattle
J. Dairy Sci. 18 (1959), 931
23. Farries, E., Oslage, H.J.:
Zur Technik langfristiger Stoffwechselversuche
an wachsenden Schweinen
Z. Tierphysiol., Tierernähr., Futtermittelk.
16 (1961)
24. Fingerling, G.:
Untersuchungen über den Stoff- und Energieumsatz
wachsender Schweine
Land. Vers. Stat. 113 (1932), 273
25. Food and Agriculture Organization:
Energy yielding components of food and computa-
tion of caloric values
(1947)
26. Gorbach, G.:
Mikrochemisches Praktikum
Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg
(1956), 31
27. Grouven, H.:
Vorträge über Agriculturchemie (1858)
zit. nach Kellner, O.: Die Ernährung der land-
wirtschaftlichen Nutztiere. P. Parey-Verlag,
Berlin (1912), 431
28. Henneberg, W., Stohmann, F.:
Beiträge zur Begründung einer rationalen Fütte-
rung der Wiederkäuer (1864)

zit. nach Kellner, O.: Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere. P. Parey-Verlag, Berlin (1912), 89

29. Hill, F.H., Humphrey, G.C.:

Studies on the protein requirements of dairy cows

Wisc. Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 13 (1910)

30. Hoffmann, L., Schiemann, R., Nehring, K., Jentsch, W.:

Die energetische Verwertung der Futterstoffe
Arch. Tierern. 13 (1963), 119

31. Hoffmann, L.:

Modellvorstellungen zur Leistungsvorhersage auf der Basis der Nettoenergie und der umsetzbaren Energie

Arch. Tierern. 15 (1965), 6. Mitt., 487

32. Honcamp, F.:

Landwirtschaftliche Fütterungslehre und Futtermittelkunde

E. Ulmer Verlag, Stuttgart (1921)

zit. nach Kellner, O.: Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere. P. Parey-Verlag, Berlin (1912), 398

33. Hopson, J.D., Johnson, R.R., Dehority, B.A.:

Evaluation of the Dacron bag technique as a method for measuring cellulose digestibility and rate of forage digestion

J. Anim. Sci. 22 (1963), 448

34. Hutyra, J., Marek, J.:

Spezielle Pathologie und Therapie der Haustiere
V.E.B. Fischer Verlag, Bd. II (1952), 329

35. Jentsch, W., Hoffmann, L., Schiemann, R., Nehring, K.:
Die energetische Verwertung der Futterstoffe
Arch. Tierern. 16 (1966), 7. Mitt., 11
36. Kellner, O., Köhler, O.:
Untersuchungen über den Stoff- und Energieumsatz
des erwachsenen Rindes bei Erhaltungs- und Produktionsfutter
Landw. Vers. Stat. 53 (1900), 1
37. Kellner, O., Fingerling, G.:
Grundzüge der Fütterungslehre
Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg, 14. Aufl. (1966)
38. Kellner, O., Becker, M.:
Grundzüge der Fütterungslehre
Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg, 15. Aufl. (1971)
39. Kleiber, M.:
The measurements of partial nutritive equivalents
Proc. Americ. Soc. Anim. Prod. 33 (1940), 332
40. Kleiber, M.:
Measuring food values for dairy cows
California Agr. Exp. Sta. Pub. 16 (1945), 511
41. Kleiber, M.:
Calorimetric measurements in biophysical research
methods
Interscience, F. Uber, New York (1950)
42. Kleiber, M.:
Futterbewertung und Futterwirkung
Festschrift 100 Jahre Möckern, Dt. Akademie der
Landwirtsch. Wissenschaften, Berlin, Bd. II
(1954), 117

43. Kleiber, M.:

Der Energiehaushalt von Mensch und Tier
Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg (1967)

44. Kriss, M.J.:

A comparison of feeding standards for dairy cows
with special reference to energy requirements
J. Nutr. 4 (1931), 141

45. Lehmann, F.:

Die Mast von Junggänsen
Archiv für Geflügelkunde 2 (1928), 293

46. Lehmann, F.:

Neues über Theorie und Praxis der Schweinemast
Zeitschrift Schweinezucht 25 (1925), 417

47. Lehnartz, E.:

Einführung in die chemische Physiologie
11. Aufl. (1959), 379, Springer Verlag, Berlin

48. Lenkeit, W., Breirem, K., Crasemann, E.:

Handbuch der Tierernährung
Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg, Bd. 1 (1969)

49. Lofgreen, G.P.:

The use of the digestible energy in the evaluation of feeds
J. Anim. Sci. 10 (1951), 344

50. Maynard, L.A.:

The Atwater system of calculating the caloric value of diets
J. Nutr. 28 (1944), 443

51. Maynard, L.A., Loosli, J.K.:
Animal Nutrition
Mc Graw-Hill Book Co., New York, 6. Aufl. (1969)
52. Møllgaard, H.:
Fütterungslehre des Milchviehs
Hannover (1929)
vgl. Mongold, L.: Handbuch 3. Bd. (1931), 465
53. Møllgaard, H.:
Über den Begriff des Nährwertes und dessen quantitative Bestimmung
Arch. Tierern. 1 (1930), 47
54. Møllgaard, H.:
Wissenschaftliche Grundbedingungen einer gemeinsamen europäischen Futterereinheit
Festschrift 100 Jahre Möckers, Dt. Akademie der Landwirtsch. Wissenschaften, Berlin, Bd. II
(1954), 63
55. Morrison, F.B.:
Feeds and Feeding
Morrison Publishing Co., Ithaca, New York, 22nd Edition (1959)
56. National Research Council Committee on Animal Nutrition:
Recommended nutrient allowances for swine
2101 Constitution Ave., N.W., Wash. 25 D.C. (1953)
57. Neatherie, M.W.:
Dry matter disappearance of roughages in nylon bag suspended in the rumen
J. Dairy Sci. 52 (1969), 74

58. Nehring, K., Schiemann, R.:
 Problematik der Resporationsversuche
 Festschrift 100 Jahre Möckern, Dt. Akademie der
 Landwirtsch. Wissenschaften, Berlin, Bd. II
 (1954), 201
59. Nehring, K. et al.:
 Sitzungsberichte der Dt. Akademie der Landwirt-
 sch. Wissenschaften, Berlin, Bd. VII (1958), Bd.
 VIII (1959), Bd. XI (1962)
60. Petry, H., Rech, R.:
 Vergleichende Untersuchungen zur Verdaulichkeits-
 bestimmung von Mischfutterrationen für Schweine
 Z. Tierphysiol., Tierernähr., Futtermittelkunde
 25 (1969), 379
61. Petry, H., Rapp, W.:
 Zur Problematik der Chromoxidbestimmung in Ver-
 dauungsversuchen
 Z. Tierphysiol., Tierernähr., Futtermittelkunde
 27 (1971), 181
62. Petry, H., Tiews, J.:
 Verdaulichkeitsbestimmungen von Mischfutterratio-
 nen für Schweine mit Hilfe der Nylonbeutel-Technik
 Mitteilungen für Tierhaltung, 134 (1972)
63. Rapp, W.:
 Verdaulichkeitsuntersuchungen beim Schwein mit
 Hilfe der Nylonbeutel-Technik
 Med.-vet. Diss., München (1972)
64. Rech, R.:
 Vergleichende Untersuchungen zur Verdaulichkeits-
 bestimmung von Mischfutterrationen beim Schwein
 Med.-vet. Diss., München (1973)

65. Resolution der British Commonwealth Specialists:
Landwirtschaftliche Konferenz, Sidney, Australien
(1949)
66. Roth, W.A., Becker, F.:
Kalorimetrische Methoden
Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig (1956)
67. Rubner, M.:
Vertretungswerte der hauptsächlichlichen organischen
Nährstoffe im Tierkörper
Z. für Biologie, 19 (1883), 313
68. Rubner, M.:
Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung
Deuticke, Leipzig und Wien (1902), 265, 426
69. Rubner, M.:
Volksernährungsfragen
Akad. Verlagsgesellschaft mbH, Leipzig (1908)
70. Scharrer, K.:
Die biochemischen Grundlagen der Tierernährungs-
lehre
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1950)
71. Schiemann, R., Jentsch, E., Hoffmann, L., Nehring, K.:
Die energetische Verwertung der Futterstoffe
Arch. Tierern. 16 (1966), 8. Mitt. 173
72. Schneider, B.H.:
Feeds of the world
Jarrett Printing Co. N.Y. (1947)

73. Schneider, B.H. et al.:
The value of average digestibility data
J. Anim. Sci. 9 (1950), 373
74. Schneider, B.H., Lucas, H.L.:
The magnitude of certain sources of variability
in digestible data
J. Anim. Sci. 9 (1950), 504
75. Schneider, B.H.:
Estimation of the digestibility of feeds from
their proximate composition
J. Anim. Sci. 10 (1951), 3
76. Schneider, B.H. et al.:
The prediction of digestibility for feeds for
which there are only proximate composition data
J. Anim. Sci. 11 (1952), 1
77. Schneider, B.H.:
The total digestible nutrient system of measuring nutritive energy
Scientific Paper No. 1250, Wash. Agr. Expt. Sta.
Pullman, Wash. (1954)
78. Spallanzani:
Versuche über das Verdauungs-Geschäft des Menschen und verschiedener Thier-Arten
Verl. d. Dykischen Buchhandlung Leipzig (1785),
134
79. Sturtevant, J.M.:
Calorimetry
Weissberges Physical Methods of Organic Chemistry
N.Y., Interscience Publisher (1945)

80. Thaer, A.:

Grundzüge der rationellen Landwirtschaft
(1809), 211

zit. nach Breirem, K.: Nettoenergie als Grundlage der Bewertung der Futtermittel. Festschrift 100 Jahre Möckern, Dt. Akademie der Landwirtschafts. Wissenschaften, Berlin, Bd. II (1954), 91

81. Trautmann, A., Scheunert, A.:

Lehrbuch der Veterinärphysiologie

4. Aufl. (1957), 213, P. Parey Verlag, Berlin, Hamburg

82. Van Keuren, R.W., Heinemann, W.W.:

Study of a nylon bag technique for in vivo estimation of frage digestibility

J. Anim. Sci. 21 (1962), 340

83. White, W.P.:

The modern calorimeter

Chemical Catalog Company. N.Y. (1928)

84. Wolff, E.:

Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere
Berlin (1876), S. 474

85. Woll, F.W., Humphrey, G.C.:

Studies on the protein requirements of dairy cows
Wisc. Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 13 (1910)

Herrn Professor Dr. Dr. Jürgen Tiews † und Herrn Professor DDr. Dr. h.c. mult. Johannes Brüggemann möchte ich für die Überlassung des Themas und für die ausgezeichneten Arbeitsbedingungen in ihren Instituten danken.

Meinen besonderen Dank auch an die Evangelische Stiftung Haus Villigst für die Bewilligung eines Promotionsstipendiums, das es mir ermöglichte, mich der Ausarbeitung dieser Arbeit frei von materiellen Sorgen zu widmen.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. H. Petry für sein stetes Interesse an dieser Arbeit, die er jederzeit mit Rat und Tat bereitwillig unterstützt hat.

LEBENS LAUF

Am 26. März 1949 wurde ich als Sohn des kaufmännischen Angestellten Hermann Handlos und dessen Ehefrau Gisela, geb. Jeremias in Heidelberg geboren. Von 1955 bis 1959 besuchte ich die Volksschule in Heidelberg-Pfaffengrund und wechselte dann auf das neusprachliche Bunsengymnasium in Heidelberg über, an dem ich 1967 die Reifeprüfung ablegte.

Mit dem Wintersemester 1967/68 begann ich mein Studium an der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilian-Universität in München. Am 20. September 1972 beendete ich den 3. Teil der tierärztlichen Prüfung. Meine Approbation erhielt ich mit Wirkung vom 22. November 1972.

Seit dem 1. März 1969 bin ich mit der Tierärztin Brigitte, geb. Weindl verheiratet.

